

**ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LOS PROCESOS  
PRODUCTIVOS Y DE INSPECCIÓN DE INDUMIL FÁBRICA SANTA  
BÁRBARA**

**DIANA PATRICIA GONZÁLEZ VARGAS  
LISSETH PATRICIA POVEDA GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENÍERIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA  
2014**

**ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LOS PROCESOS  
PRODUCTIVOS Y DE INSPECCIÓN DE INDUMIL FÁBRICA SANTA  
BÁRBARA**

**DIANA PATRICIA GONZÁLEZ VARGAS  
LISSETH PATRICIA POVEDA GÓMEZ**

**Trabajo de grado para optar al título de  
Ingeniero Industrial**

**Director  
EDWIN ALBERTO GARAVITO HERNÁNDEZ  
Ingeniero Industrial**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENÍERIAS FÍSICO-MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA  
2014**

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN .....	17
1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO .....	21
1.1 TITULO DEL PROYECTO.....	21
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	21
1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	21
1.4 RESULTADOS ESPERADOS .....	22
1.5 OBJETIVOS .....	23
1.5.1 Objetivo General .....	23
1.5.2 Objetivos Específicos .....	23
2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA.....	25
2.1 IDENTIFICACIÓN LEGAL .....	25
2.2 RESEÑA HISTÓRICA .....	25
2.3 PLAN ESTRATÉGICO .....	27
2.3.1 Misión.....	27
2.3.2 Visión.....	27
2.3.3 Objeto Social.....	27
2.3.4 Estructura Organizacional .....	28
2.3.5 Mapa de Procesos .....	29
3 DIAGNÓSTICO.....	30
3.1 ANÁLISIS DE REPORTES DE NO CONFORMIDAD .....	30
3.2 MATRIZ MULTICRITERIO .....	37
4 MARCO REFERENCIAL .....	49
4.1 MARCO TEÓRICO.....	49
4.1.1 Análisis del sistema de medición (MSA).....	49
4.1.2 Estudio de repetibilidad y reproducibilidad .....	51
4.1.3 Principales fuentes de error en las mediciones .....	59
4.1.4 Control estadístico de procesos .....	60
4.2 MARCO CONCEPTUAL.....	63

5 METODOLOGÍA.....	66
6 ESTUDIOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	72
6.1 INDUCCIÓN A LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	72
6.2 SELECCIÓN DE PIEZAS PARA LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	72
6.3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	73
6.3.1 Resultados proceso de inspección y ensayo.....	76
6.3.2 Resultados proceso de mecanizados.....	81
6.3.3 Resultados proceso de microfundición.....	86
6.3.4 Resultados proceso de troqueles.....	89
7 REPETICIÓN DE LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	93
7.1 CAPACITACIÓN PREVIA A LA REPETICIÓN DE LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD.....	93
7.2 AJUSTES Y CASOS ESPECIALES PARA LA REPETICIÓN DE ESTUDIOS	99
7.3 PORCENTAJE $r$ Y $R$ ESTUDIOS INICIALES VS PORCENTAJE $r$ Y $R$ REPETICIÓN DE ESTUDIOS.....	100
7.3.1 Comparación % $r$ y $R$ en el proceso de inspección y ensayo.....	100
7.3.2 Comparación % $r$ y $R$ en el proceso de mecanizados.....	106
7.3.3 Comparación % $r$ y $R$ en el proceso de microfundición.....	111
7.3.4 Comparación % $r$ y $R$ en el proceso de troqueles.....	114
8 OBSERVACIONES.....	118
9 CONCLUSIONES.....	120
10 RECOMENDACIONES.....	122
BIBLIOGRAFÍA.....	124

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Causas RNC en el Año 2011 .....	31
Tabla 2. Causas RNC en el Año 2012 .....	32
Tabla 3. Causas RNC de Enero a Junio del 2013 .....	33
Tabla 4. RNC por Desviación Dimensional en el Año 2011 .....	34
Tabla 5. RNC por Desviación Dimensional en el Año 2012 .....	35
Tabla 6. RNC por Desviación Dimensional de Enero a Junio del 2013 .....	36
Tabla 7. Criterios de Ponderación para los procesos vs factores .....	39
Tabla 8. Rangos para la calificación de la criticidad de los procesos .....	40
Tabla 9. Matriz Procesos vs Factores .....	41
Tabla 10. Criterios de Ponderación para los instrumentos vs factores .....	44
Tabla 11. Rangos para la calificación de la criticidad de los procesos .....	44
Tabla 12. Matriz de Multicriterio Resumen Instrumentos vs Factores Críticos .....	45
Tabla 13. Anova para un sistema de medición con dos factores. ....	55
Tabla 14. Formato para la toma de datos. ....	67
Tabla 15. Secuencia de Medición .....	70
Tabla 16. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	76
Tabla 17. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio Proyector de Perfiles Baty en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	80
Tabla 18. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Mecanizados. ....	81
Tabla 19. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Microfundición. ....	86
Tabla 20. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores en el proceso de Microfundición. ....	88
Tabla 21. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Microfundición. ....	88

Tabla 22. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Microfundición. ....	88
Tabla 23. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Troqueles. ....	89
Tabla 24. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores en el proceso de Troqueles. ....	91
Tabla 25. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Troqueles. ....	91
Tabla 26. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Troqueles. ....	91
Tabla 27. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Digital de Profundidades en el proceso de Troqueles. ....	92

## LISTADO DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Organigrama de Indumil Fábrica Santa Bárbara .....	28
Gráfica 2. Mapa de Proceso de Indumil .....	29
Gráfica 3. Causas RNC en el Año 2011 .....	31
Gráfica 4. Causas RNC en el Año 2012 .....	32
Gráfica 5. Causas RNC de Enero a Junio del 2013 .....	33
Gráfica 6. RNC por Desviación Dimensional en el Año 2011 .....	34
Gráfica 7. RNC por Desviación Dimensional en el Año 2012 .....	35
Gráfica 8. RNC por Desviación Dimensional de Enero a Junio del 2013 .....	36
Gráfica 9. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	76
Gráfica 10. Clasificación Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Inspección y Ensayo. ....	77
Gráfica 11. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	78
Gráfica 12. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	79
Gráfica 13. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	79
Gráfica 14. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Digital de Alturas en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	80
Gráfica 15. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Mecanizados. ....	81
Gráfica 16. Clasificación Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Mecanizados. ....	82
Gráfica 17. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Mecanizados. ....	83
Gráfica 18. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Mecanizados. ....	84

Gráfica 19. Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Digital de Profundidades en el proceso de Mecanizados. ....	85
Gráfica 20. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Microfundición. ....	86
Gráfica 21. Clasificación Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Microfundición. ....	87
Gráfica 22. Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Inspección y Ensayo. ....	89
Gráfica 23. Clasificación de Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Troqueles. ....	90
Gráfica 24. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores. ....	101
Gráfica 25. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores. ....	102
Gráfica 26. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades. ...	103
Gráfica 27. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Digital de Alturas. ....	104
Gráfica 28. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Proyector de Perfiles Baty. ....	105
Gráfica 29. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores. ....	106
Gráfica 30. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades. ....	107
Gráfica 31. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades. ....	108
Gráfica 32. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades. ....	109
Gráfica 33. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Digital de Profundidades. ....	110

Gráfica 34. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Microfundición con Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores. ....	111
Gráfica 35. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Microfundición con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores. ....	112
Gráfica 36. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Microfundición con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades. ....	113
Gráfica 37. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores. ....	114
Gráfica 38. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores. ....	115
Gráfica 39. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades. ....	116
Gráfica 40. % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Digital de Profundidades.....	117

## LISTADO DE ANEXOS

(Ver carpeta adjunta de Anexos)

- ANEXO A. Cantidad y tipo de instrumentos por proceso
- ANEXO B. Participantes de los estudios r y R de acuerdo al proceso al que pertenecen
- ANEXO C. Matriz multicriterio final proceso- instrumentos vs factores
- ANEXO D. Grupos participantes en los estudios r y R por proceso
- ANEXO E. Control de asistencia a inducción de estudios r Y R
- ANEXO F. Tipos de piezas medidas en los estudios de r y R
- ANEXO G. Estudios r Y R
- ANEXO H. Integrantes de los grupos en el proceso de Inspección y Ensayo
- ANEXO I. Personas a capacitar en el proceso de Inspección y Ensayo
- ANEXO J. Grupos proceso de Mecanizados
- ANEXO K. Personas a capacitar proceso de Mecanizados
- ANEXO L. Grupos proceso de Microfundición
- ANEXO M. Grupos proceso de Troqueles
- ANEXO N. Condiciones locativas
- ANEXO O. Control de asistencia a capacitación previa a repetición de estudios r y R personal planta y temporal
- ANEXO P. Instructivo para la repetición de estudios r y R
- ANEXO Q. Grupos % r Y R en el proceso de Inspección y Ensayo
- ANEXO R. Grupos % r Y R en el proceso de Mecanizados
- ANEXO S. Grupos % r Y R en el proceso de Microfundición
- ANEXO T. Grupos % r Y R en el proceso de Troqueles
- ANEXO U. Estudios en el proceso de Microfundición
- ANEXO V. Frecuencia de uso de los instrumentos en el proceso de Microfundición
- ANEXO W. Frecuencia de uso del instrumento
- ANEXO X. % De estudios por instrumento en los procesos

## RESUMEN

**TÍTULO:** ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y DE INSPECCIÓN DE INDUMIL FÁBRICA SANTA BÁRBARA\*

**AUTORES:** GONZÁLEZ VARGAS, Diana Patricia  
POVEDA GÓMEZ, Lisseth Patricia\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Repetibilidad, Reproducibilidad, Sistema de medición, Anova, MSA, Variación, RNC, Matriz Multicriterio.

### CONTENIDO:

En el transcurso del desarrollo del objeto social de la Industria Militar Fábrica Santa Bárbara, ubicada en la ciudad de Sogamoso – Boyacá, se han venido presentado devoluciones y/o rechazos en piezas debido a desviaciones dimensionales que reflejan la existencia de sistemas de medición inadecuados, lo que hace necesario la realización de estudios de repetibilidad y reproducibilidad para validar los sistemas de medición, enfocándolos en los procesos e instrumentos de medición críticos que son identificados a través de un diagnóstico, con apoyo de dos herramientas como son el análisis de las estadísticas de Reportes de no Conformidad (RNC) generados por el grupo Control Calidad y la elaboración de dos Matrices de Valoración Multicriterio. Dichos estudios son desarrollados siguiendo una metodología basada en el MSA (Análisis del Sistema de Medición) y analizados con la herramienta estadística ANOVA (Análisis de Varianza), con la que se logra identificar el nivel de aceptación de los sistemas de medición, para posteriormente a aquellos que obtuvieron resultados no favorables proponen acciones correctivas enfocadas al factor(es) al que se atribuye la mayor variación. Finalmente se verifica la puesta en marcha de dichas recomendaciones para garantizar la presencia de sistemas de medición confiables en la totalidad de los procesos e instrumentos de medición abarcados.

---

\* Proyecto de Grado

\*\* Facultad de Ingenierías Físico Mecánicas. Escuela de Estudios Industriales y Empresariales.  
Director: Edwin Alberto Garavito Hernández

## ABSTRACT

**TITLE:** REPEATABILITY AND REPRODUCIBILITY STUDIES IN PRODUCTION AND INSPECTION PROCESSES OF INDUMIL FACTORY OF SANTA BARBARA\*

**AUTHORS:** GONZÁLEZ VARGAS, Diana Patricia  
POVEDA GÓMEZ, Lisseth Patricia\*\*

**KEY WORDS:** Repeatability, Reproducibility, Measuring System, ANOVA, MSA, Variation, RNC, Multicriterion Matrix.

### CONTENT:

During the development of the social object of the Military Industry Factory Santa Barbara , located in the city of Sogamoso Boyacá, have been filed returns and / or rejections in parts due to dimensional deviations that reflect the existence of inadequate systems of measurement, necessitating studies of repeatability and reproducibility for validating measurement systems, focusing them on the processes and tools critical measurement that are identified through diagnosis, supported by two tools such as the analysis of statistics non Compliance Reports (RNC) generated by the Quality Control group and the development of two matrices Multicriteria Rating. Such studies are developed following a methodology based on MSA (Measurement System Analysis) and analyzed with ANOVA (Analysis of Variance) statistical tool, with which you can identify the level of acceptance of measurement systems, later to those who obtained no favorable results propose corrective actions focused on factor (s) that the greatest variation is attributed. Finally, the implementation of these recommendations is checked to ensure the presence of reliable measurement systems in all the processes and instruments of measurement covered.

---

\* Graduation Project

\*\* Faculty of Physicist-Mechanical Engineering. School of Industrial and Business Studies. Directed by Edwin Alberto Garavito Hernández

## INTRODUCCIÓN

Antiguamente los sistemas de medición eran evaluados considerando únicamente las características de exactitud, estabilidad y linealidad propias de los equipos, instrumentos o dispositivos usados de acuerdo a cada proceso. Ya que estas propiedades solamente caracterizaban la ubicación de las mediciones, surgió la necesidad de incluir en dicha evaluación la repetibilidad y la reproducibilidad como herramientas para identificar la dispersión o variabilidad de los resultados obtenidos, que en la práctica es causada por el operador y/o el método empleado.

La empresa Indumil teniendo entre su objeto social la fabricación de armas, municiones y artefactos explosivos con altos estándares de calidad que satisfagan las necesidades de sus clientes, considera oportuna la realización de estudios de repetibilidad y reproducibilidad (r & R) en los diferentes procesos productivos y de inspección que abarca la Sede Santa Bárbara, para validar las mediciones realizadas por los operarios e inspectores de calidad con el fin de garantizar la confiabilidad de los resultados y por ende la calidad de los productos.

Para la consecución de estos estudios se deben identificar los instrumentos de medición apropiados para cada proceso y el uso que el personal de a estos. A partir de los resultados que se obtengan del análisis del sistema de medición se identifican las posibles causas de variación que evidencian toma de datos incorrecta y poco confiable, a las que se propondrán acciones correctivas cuyo cumplimiento será posteriormente verificado.

En el presente documento se da a conocer un diagnóstico de la situación actual de Indumil Fábrica Santa Bárbara en cuanto a la los procesos e instrumentos de medición que están involucrados en su desarrollo y un informe estadístico de reportes de no conformidad de piezas defectuosas en donde se identifica que las mediciones realizadas por los operadores en el proceso, son un factor determinante en la calidad y confiabilidad del producto. Adicionalmente se da a

conocer la metodología que se empleará para la realización de los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad que permitirán detectar la validez de los sistemas de medición y finalmente se darán a conocer los posibles resultados que se esperan con su desarrollo.

<b>OBJETIVO</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>
Identificar por medio de un diagnóstico los procesos e instrumentos de medición críticos y los operadores que están directamente involucrados en dichos procesos.	<b>CAPITULO 3</b> <b>3.1</b> Análisis de reportes de no conformidad. Pág. 30-37 <b>3.2</b> Matriz Multicriterio. Pág. 37-48
Capacitar a los operarios e inspectores de calidad involucrados en los estudios acerca de la importancia de realizar buenas mediciones para garantizar la confiabilidad en el uso de instrumentos de medición y obtención de resultados e informar el objetivo, los fundamentos y la metodología para la aplicación de los estudios de r y R.	<b>CAPITULO 6</b> <b>6.1</b> Inducción a los estudios de repetibilidad y reproducibilidad. Pág. 72
Efectuar estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad para recopilar datos de las mediciones programadas hechas por los operarios con los correspondientes instrumentos críticos, que permitan verificar la confiabilidad de la operación y el estado de dichos instrumentos.	<b>CAPITULO 5</b> Metodología. Pág. 66-71 <b>CAPITULO 6</b> Estudios de repetibilidad y reproducibilidad. Pág. 72-75
Analizar y evaluar los resultados de los datos obtenidos para identificar las causas por las cuales se presentan mediciones inapropiadas y poco confiables por parte del personal usuario de los equipos de medición en la Industria Militar Fábrica Santa Bárbara.	<b>CAPITULO 6</b> <b>6.3</b> Resultados obtenidos de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad. Pág.73-92 <b>6.3.1</b> Resultados proceso de Inspección y Ensayo. pág. 76-80 <b>6.3.2</b> Resultados proceso de Mecanizados. Pág. 81-85 <b>6.3.3</b> Resultados proceso de Microfundición. Pág. 86-88 <b>6.3.4</b> Resultados proceso de Troqueles. Pág. 89-92
Formular recomendaciones y acciones de cambio que puedan garantizar confiabilidad en las mediciones hechas	<b>CAPITULO 7</b> <b>7.1</b> Capacitación previa a la repetición de

<b>OBJETIVO</b>	<b>CUMPLIMIENTO</b>
por los operarios e inspectores de calidad participantes en los estudios.	los estudios de repetibilidad y reproducibilidad. Pág. 93-99
Verificar la puesta en marcha de las recomendaciones y acciones correctivas para garantizar que los resultados en las mediciones sean satisfactorios.	<b>CAPITULO 7</b> <b>7.3.1</b> Comparación % r y R en el proceso de Inspección y Ensayo. Pág. 100-105 <b>7.3.2</b> Comparación % r y R en el proceso de Mecanizados. Pág. 106-110 <b>7.3.3</b> Comparación % r y R en el proceso de Microfundición. Pág. 111-113 <b>7.3.4</b> Comparación % r y R en el proceso de Troqueles. Pág. 114-117

# **1 DEFINICIÓN DEL PROYECTO**

## **1.1 TITULO DEL PROYECTO**

ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD EN LOS PROCESOS PRODUCTIVOS Y DE INSPECCIÓN DE INDUMIL FÁBRICA SANTA BÁRBARA

## **1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

La Industria Militar establece entre sus políticas de gestión integral, innovar y suministrar bienes y servicios con calidad que permitan aumentar la confianza, satisfacción y credibilidad de sus clientes. Para el desarrollo de dicha política es importante verificar que las mediciones realizadas por los usuarios de los equipos de medición y de inspección sean confiables y garanticen el cumplimiento de las especificaciones y normatividades de las piezas fabricadas.

Sin embargo se han venido presentando en el desarrollo de su labor devoluciones o rechazos en piezas debido a desviaciones dimensionales, a causa de la inadecuada realización de mediciones por parte de los operadores, hecho que se evidencia en los “Reportes de no Conformidad (RNC)”<sup>1</sup> emitidos por el Grupo Control Calidad de Indumil Fasab a la hora de inspeccionar dichas piezas.

## **1.3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Vista la problemática presentada en la Industria Militar sede Santa Barbará en lo que corresponde a la falencia en las mediciones llevadas a cabo por los operarios e inspectores de calidad y la repercusión de éstas sobre el producto final, así como la incorporación de nuevos tipos de instrumentos de medición que no han sido previamente analizados bajo el uso de un operador, se hace necesario la

---

<sup>1</sup> INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013.

realización de Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad que permitan reducir la variabilidad en las mediciones, causadas por el método empleado y las distintas personas que las llevan a cabo.

Con ello se conseguirá tener mayor exactitud de medición en el proceso, mejorando el control del mismo y disminuyendo el gasto tanto de tiempo como de costos, identificando si el problema o las inconsistencias son causadas por defectos del dispositivo de medición o por la forma inapropiada en la que dicho instrumento es utilizado por el usuario, y finalmente permitirá determinar si las inconsistencias en el sistema de medición son suficientemente grandes como para invalidarlo.

#### **1.4 RESULTADOS ESPERADOS**

Con la ayuda de la información suministrada por los estudios de r&R, se evalúa el sistema de medición en los diferentes procesos productivos y de inspección, identificando las causas que originan variaciones en dicho sistema, ya sean por operador, instrumento o método.

Dependiendo de la magnitud de las variaciones se cataloga el sistema de medición como válido o inválido, en caso de que éste sea inadecuado se generan acciones correctivas que le permitan al proceso volver a trabajar en condiciones normales.

La puesta en marcha y seguimiento de las acciones correctivas garantiza la eficacia de las mediciones y por consiguiente la consolidación de un Sistema de Medición sólido, capaz de arrojar resultados confiables reflejados en la calidad del producto final.

## **1.5 OBJETIVOS**

### **1.5.1 Objetivo General**

Certificar la idoneidad de los operarios para la validación de la mediciones realizadas a partir de un estudio de Repetibilidad y Reproducibilidad (r&R).

### **1.5.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Identificar por medio de un diagnóstico los procesos e instrumentos de medición críticos y los operadores que están directamente involucrados en dichos procesos.
- ✓ Capacitar a los operarios e inspectores de calidad involucrados en los estudios acerca de la importancia de realizar buenas mediciones para garantizar la confiabilidad en el uso de instrumentos de medición y obtención de resultados e informar el objetivo, los fundamentos y la metodología para la aplicación de los estudios de r y R.
- ✓ Efectuar estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad para recopilar datos de las mediciones programadas hechas por los operarios con los correspondientes instrumentos críticos, que permitan verificar la confiabilidad de la operación y el estado de dichos instrumentos.
- ✓ Analizar y evaluar los resultados de los datos obtenidos para identificar las causas por las cuales se presentan mediciones inapropiadas y poco confiables por parte del personal usuario de los equipos de medición en la Industria Militar Fábrica Santa Bárbara.
- ✓ Formular recomendaciones y acciones de cambio que puedan garantizar confiabilidad en las mediciones hechas por los operarios e inspectores de calidad participantes en los estudios.

- ✓ Verificar la puesta en marcha de las recomendaciones y acciones correctivas para garantizar que los resultados en las mediciones sean satisfactorios.

## **2 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA**

### **2.1 IDENTIFICACIÓN LEGAL**

INDUMIL: Industria Militar de Colombia

### **2.2 RESEÑA HISTÓRICA**

La Industria Militar tiene su origen en el año 1908, cuando se organizó el "Taller Nacional de Artes Mecánicas" dependiendo del Ministerio de Guerra. En el año 1954 dadas las exigencias de nuevas estructuras y objetivos de mayor alcance, se crea la INDUSTRIA MILITAR como entidad autónoma; después como Empresa Industrial y Comercial del Estado, iniciando con su primera unidad de negocios denominada Fábrica General "José María Córdova", para la fabricación de armamento y de munición de pequeño calibre para uso militar prioritariamente. La Fábrica "Santa Bárbara", nace en el año 1955, como la segunda Unidad de negocios con maquinaria y equipos destinados a la fabricación de municiones pesadas de artillería para las Fuerzas Militares, iniciando operaciones en el año 1964. Finalmente la Fábrica de Explosivos "Antonio Ricaurte", se creó en el año de 1963 con el carácter de Sociedad Comercial Anónima y en 1968 pasa a convertirse en la tercera unidad de negocios de la Industria Militar.<sup>2</sup>

Con el transcurrir de los años, luego de un desarrollo industrial, las tres factorías han ampliado y diversificado sus líneas de producción y servicios, con capacidad tecnológica para la fabricación de productos de alta calidad, hecho que le permite ser competitiva en cualquier mercado a nivel global.

Mediante decreto 2137 de 1989, le fue otorgado el Premio Nacional de la Calidad, en la categoría de Gran Industria, constituyéndose en la primera empresa del

---

<sup>2</sup> INDUMIL FASAB, Manual de Gestión Integral IM OC OFP MN 001 : Descripción General de la Industria Militar. [Base de datos Indumil Fasab], Colombia: s.n., 2012.

Estado que logró alcanzarlo. Así mismo, con el decreto 1806 de 1989, el gobierno otorgó la Orden al Mérito Industrial, en la categoría de Gran Oficial, como reconocimiento a la importante labor que la Empresa ha desarrollado. En el año 2000, la Industria Militar obtuvo la certificación para el Sistema de Aseguramiento de la Calidad, bajo la normatividad NTC ISO 9002/94. Entre tanto, en el año 2002, la Empresa renovó la certificación para el Sistema de Gestión de la Calidad según los requisitos de la norma NTC ISO 9001:2000. Para el año 2004, la Industria Militar se postula al Premio Colombiano a la Calidad de la gestión 2003, logrando obtener el primer puesto en la categoría Empresa Estatal Manufacturera Grande, y se convierte así mismo en la primera Empresa del Sector Defensa en obtenerlo.

En su constante motivación para lograr la excelencia, en el 2005 el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC, le entrega los Certificados de Renovación y Ampliación de la Gestión de la Calidad según norma NTC ISO 9001:2000, incluyendo los procesos y desarrollos de los productos. Esta última, nuevamente renovada en el 2010, bajo la versión NTC ISO 9001:2008.

Toda esta proyección de reconocimientos y el compromiso constante de sus colaboradores, hace que se certifique a INDUMIL en el 2007, bajo la Norma NTCGP 1000:2004 “Sistema de Gestión de la Calidad para la Rama Ejecutiva del poder público”, en cumplimiento de la ley 872 de 2003. Ese mismo año recibe Mención Honorífica en el Premio Iberoamericano de la Calidad 2007, en la categoría Entidad Pública Grande; mismo reconocimiento que alcanza por segunda vez en el 2009.

La búsqueda y la perseverancia por lograr un mejoramiento continuo, hace que en el año 2009, certifiquen a la organización bajo la Norma NTC ISO 14001:2004 “Sistema de Gestión Ambiental”. Ya, en el año 2010 INDUMIL se hace acreedora del “Premio Nacional a la Innovación y la Excelencia en la Gestión”, categoría Entidad Pública Grande, entregado por la Presidencia de la República. En el año 2011, es entregado por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas ICONTEC la

Certificación NTC OHSAS 18001:2007 “Sistema de Seguridad y Salud Ocupacional”.

## **2.3 PLAN ESTRATÉGICO**

### **2.3.1 Misión**

Desarrollar la política del Gobierno Nacional en materia de importación, producción y comercialización de armas, municiones, explosivos, accesorios, servicios y elementos complementarios, para satisfacer las necesidades de la Defensa y Seguridad Nacional y el Sector Privado, contribuyendo con responsabilidad social y ambiental al progreso del país.<sup>3</sup>

### **2.3.2 Visión**

Al 2019 consolidarse como el proveedor principal de armas, municiones y explosivos, accesorios, servicios y elementos complementarios para la Fuerza Pública, entidades de seguridad nacional y los sectores industrial, minero, vial y energético, con autosuficiencia, competitividad e innovación tecnológica; para atender la demanda interna e internacional, proyectándose como soporte del desarrollo y progreso del país.<sup>4</sup>

### **2.3.3 Objeto Social**

Su objetivo es desarrollar la política del Gobierno en materia de importación, fabricación y comercio de armas y municiones para uso militar, de defensa personal y deportiva, explosivos y elementos complementarios, así como la explotación de los ramos industriales, acordes con su especialidad.<sup>5</sup>

---

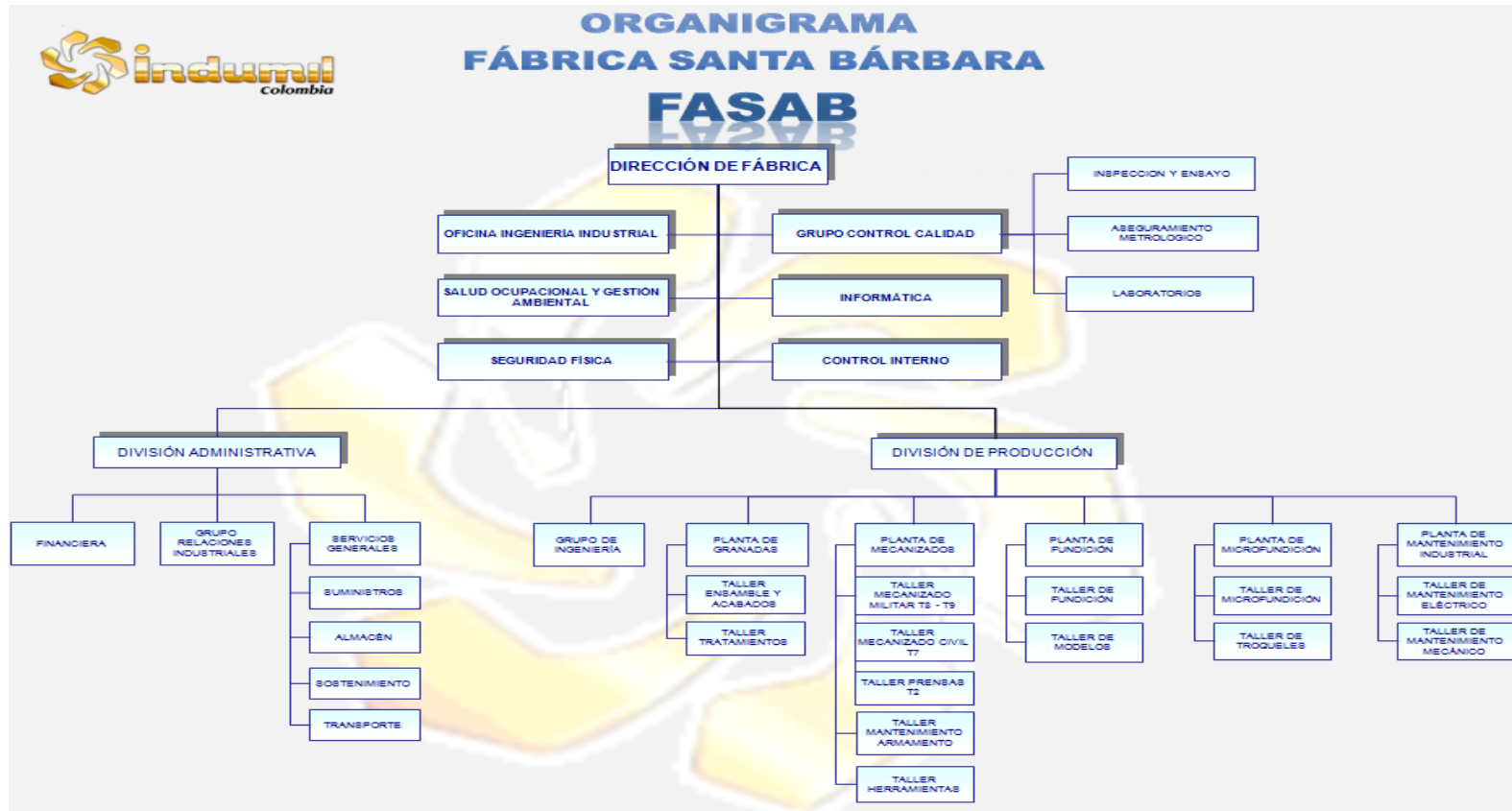
<sup>3</sup> Ibid.

<sup>4</sup> Ibid.

<sup>5</sup> Ibid.

### 2.3.4 Estructura Organizacional

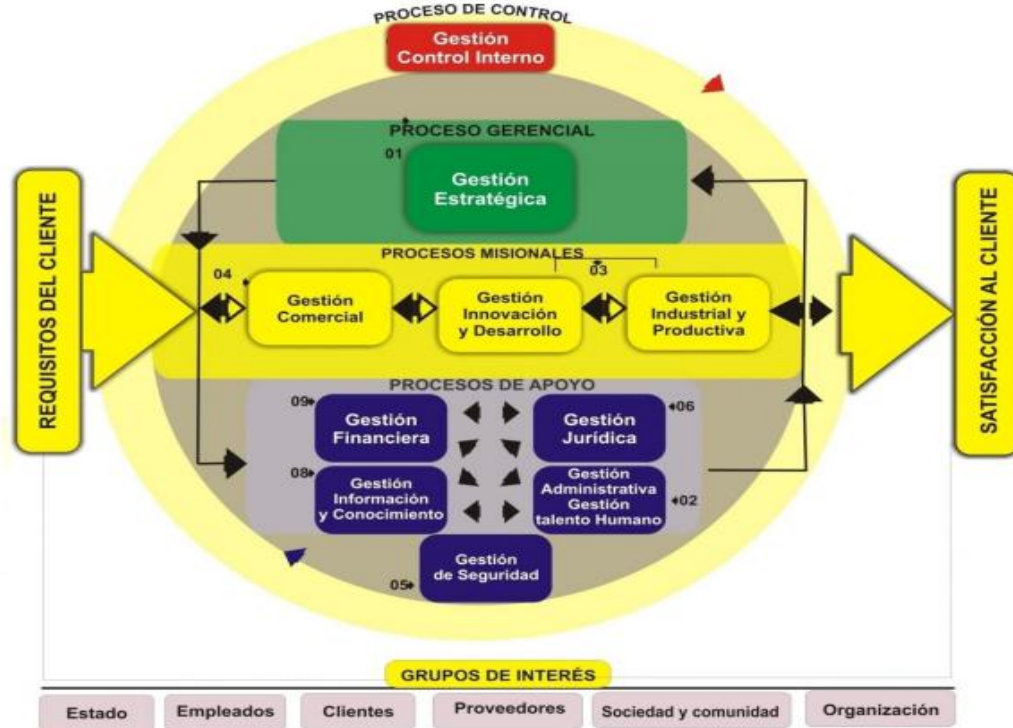
Gráfica 1. Organigrama de Indumil Fábrica Santa Bárbara



Fuente: INDUMIL FASAB. Organigrama Fasab IM OC OFF IF 004 REV 07. [Base de datos Indumil Fasab], Colombia: s.n., 2010.

### 2.3.5 Mapa de Procesos

Gráfica 2. Mapa de Proceso de Indumil



Fuente: INDUMIL FASAB. INFORME PORMENORIZADO DEL ESTADO DEL CONTROL INTERNO : Mapa de Procesos. [Base de datos Indumil Fasab], Colombia: s.n., 2012.

### **3 DIAGNÓSTICO**

#### **3.1 ANÁLISIS DE REPORTES DE NO CONFORMIDAD**

En base al consolidado de Reportes de no Conformidad se extraen las diferentes causas que ocasionan la emisión de dichos reportes y el porcentaje equivalente de cada una de estas en el año 2011, 2012 y 2013, con el fin de identificar los procesos que generan mayor número de RNC debido a desviaciones dimensionales. Dicha información se muestra a continuación:

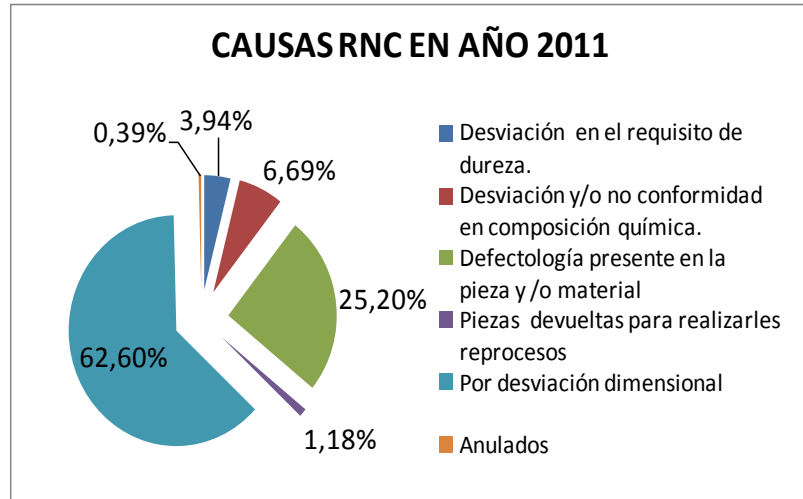
**Tabla 1.** Causas RNC en el Año 2011

<b>CAUSAS RNC EN AÑO 2011</b>		
	<b>Nº</b>	<b>%</b>
Desviación en el requisito de dureza.	10	3,94%
Desviación y/o no conformidad en composición química.	17	6,69%
Defectología presente en la pieza y /o material	64	25,20%
Piezas devueltas para realizarles reprocesos	3	1,18%
Por desviación dimensional	159	62,60%
Anulados	1	0,39%
<b>TOTAL AÑO 2011</b>	<b>254</b>	<b>100%</b>

**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

De las diferentes causas que generan RNC en el Año 2011, aquella que representa el porcentaje de mayor influencia es la Desviación Dimensional con un 62,60%.

**Gráfica 3.** Causas RNC en el Año 2011



**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

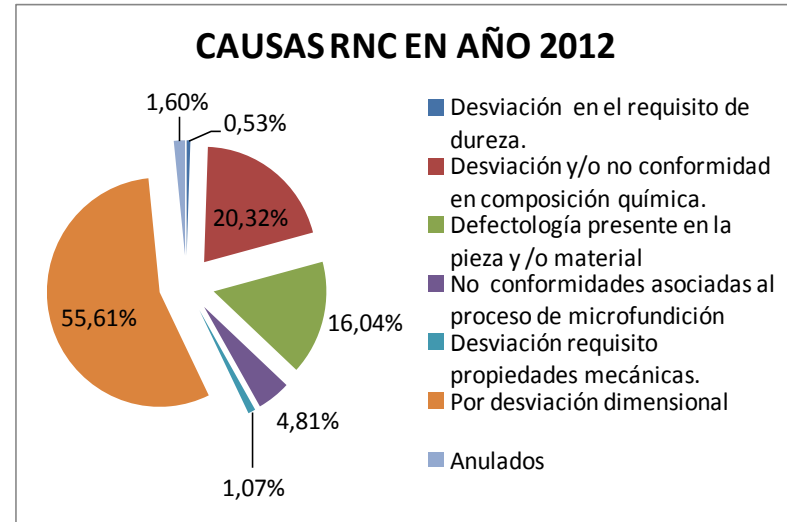
**Tabla 2.** Causas RNC en el Año 2012

<b>CAUSAS RNC EN AÑO 2012</b>		
	<b>Nº</b>	<b>%</b>
Desviación en el requisito de dureza.	1	0,53%
Desviación y/o no conformidad en composición química.	38	20,32%
Defectología presente en la pieza y/o material	30	16,04%
No conformidades asociadas al proceso de microfundición	9	4,81%
Desviación requisito propiedades mecánicas.	2	1,07%
Por desviación dimensional	104	55,61%
Anulados	3	1,60%
<b>TOTAL AÑO 2012</b>	<b>187</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

En el Año 2012 los RNC estuvieron atribuidos principalmente a Desviaciones Dimensionales en las piezas con un porcentaje de 55,61%.

**Gráfica 4.** Causas RNC en el Año 2012



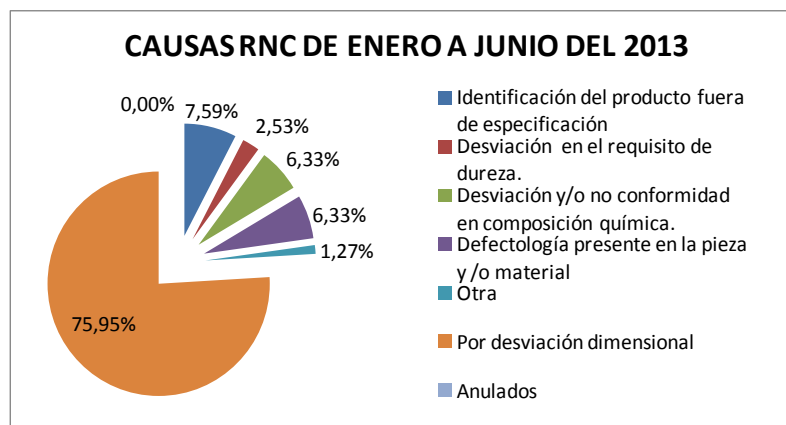
**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

**Tabla 3.** Causas RNC de Enero a Junio del 2013

<b>CAUSAS RNC DE ENERO A JUNIO DEL 2013</b>		
	<b>Nº</b>	<b>%</b>
Identificación del producto fuera de especificación	6	7,59%
Desviación en el requisito de dureza.	2	2,53%
Desviación y/o no conformidad en composición química.	5	6,33%
Defectología presente en la pieza y /o material	5	6,33%
Otra	1	1,27%
Por desviación dimensional	60	75,95%
Anulados	0	0,00%
<b>TOTAL AÑO 2013</b>	<b>79</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

**Gráfica 5.** Causas RNC de Enero a Junio del 2013



**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

El 75,95% de las causas de RNC de Enero a Junio del 2013 corresponden a Desviaciones dimensionales en las piezas. Dado que en los últimos tres años los Reportes de no Conformidad fueron emitidos en su mayoría a causa de desviaciones dimensionales, se considera pertinente identificar en cual o cuales procesos se está presentando con mayor frecuencia esta no conformidad, para ello se tomó como base la información del consolidado de RNC<sup>6</sup> suministrado por el Grupo Control Calidad de Indumil Fasab, del cual se pudo concluir lo siguiente:

<sup>6</sup>INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013.

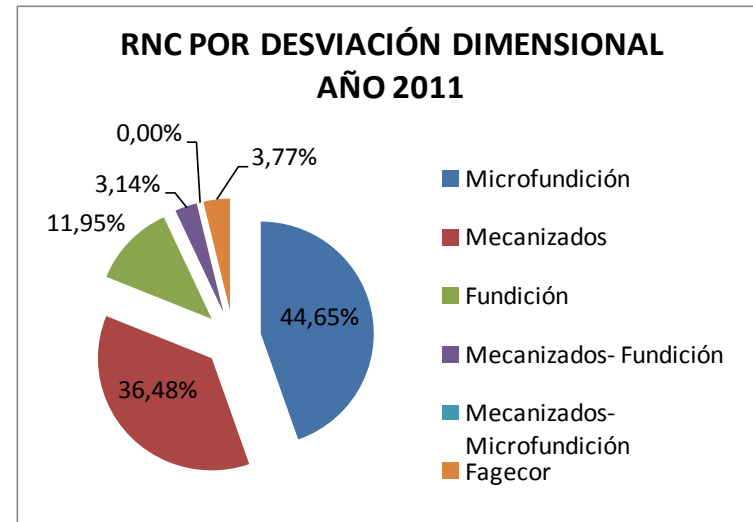
**Tabla 4.** RNC por Desviación Dimensional en el Año 2011

**RNC POR DESVIACIÓN DIMENSIONAL AÑO 2011**

PROCESO	N°	%
Microfundición	71	44,65%
Mecanizados	58	36,48%
Fundición	19	11,95%
Mecanizados- Fundición	5	3,14%
Mecanizados- Microfundición	0	0,00%
Fagecor	6	3,77%
<b>Total Año 2011</b>	<b>159</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

**Gráfica 6.** RNC por Desviación Dimensional en el Año 2011



**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

Los procesos a los que se les generó mayor número de RNC en el año 2011 debido a desviaciones dimensionales presentadas en las piezas, son Microfundición y Mecanizados con 44,65% y 36,48% respectivamente.

**Tabla 5.** RNC por Desviación Dimensional en el Año 2012

**RNC POR DESVIACIÓN DIMENSIONAL AÑO 2012**

PROCESO	N°	%
Microfundición	47	45,19%
Mecanizados	37	35,58%
Fundición	10	9,62%
Mecanizados- Fundición	6	5,77%
Mecanizados- Microfundición	1	0,96%
Fagecor	3	2,88%
<b>Total Año 2012</b>	<b>104</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

**Gráfica 7.** RNC por Desviación Dimensional en el Año 2012



**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

Microfundición y Mecanizados son los procesos que en el año 2012 presentaron más RNC debido a desviaciones dimensionales como se observa en la gráfica con un porcentaje de 45,19% y 35,58% respectivamente.

**Tabla 6.** RNC por Desviación Dimensional de Enero a Junio del 2013

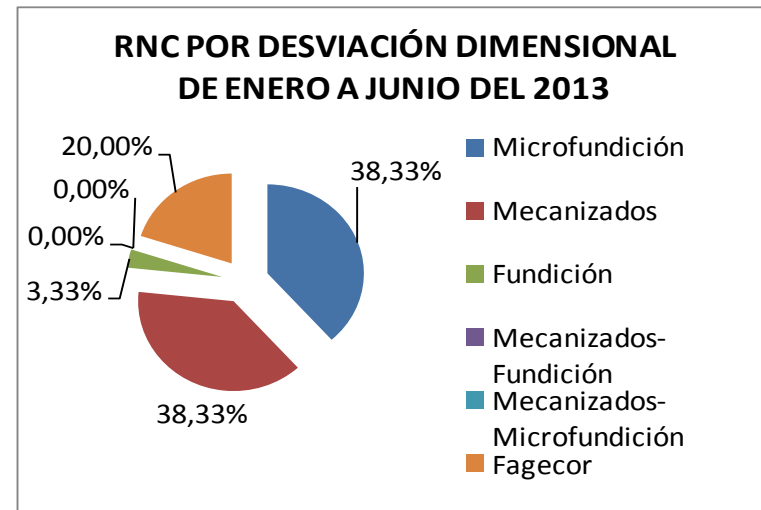
**RNC POR DESVIACIÓN DIMENSIONAL DE ENERO A JUNIO DEL 2013**

PROCESO	N°	%
Microfundición	23	38,33%
Mecanizados	23	38,33%
Fundición	2	3,33%
Mecanizados- Fundición	0	0,00%
Mecanizados- Microfundición	0	0,00%
Fagecor	12	20,00%
<b>Total Año 2013</b>	<b>60</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

De Enero a Junio del 2013 los RNC por desviación dimensional estuvieron representados en su mayoría en los procesos de Microfundición y Mecanizados con un porcentaje equivalente a 38,33% para ambos casos.

**Gráfica 8.** RNC por Desviación Dimensional de Enero a Junio del 2013



**Fuente:** INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013

Con lo anterior se puede evidenciar que existen falencias en los procesos (Microfundición y Mecanizados) en cuanto a los sistemas de medición, por lo que se ve la necesidad en la Fábrica Santa Bárbara de realizar estudios de repetibilidad y reproducibilidad para analizar, evaluar, capacitar y concientizar a los operadores de los instrumentos de medición en el desarrollo efectivo de su labor, para el fortalecimiento, crecimiento y mejoramiento de la empresa.

### **3.2 MATRIZ MULTICRITERIO**

Con la finalidad de enfocar de manera más precisa los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad a los procesos que lo requieren, se realiza un análisis de criticidad con ayuda de una matriz de evaluación multicriterio que tiene como propósito priorizar los procesos con base en su valoración de impacto.<sup>7</sup>

Dicha matriz de criterios, evalúa opciones basándose en una serie de factores explícitos previamente establecidos según importancia, lo que permitirá tomar una decisión adecuada y aceptable.<sup>8</sup>

Para la realización de ésta, es primordial identificar todos los procesos existentes en Indumil Fasab en los que intervengan instrumentos de medición, y los factores a calificar en cada proceso, actividades que se desarrollan en colaboración del Técnico del Laboratorio de Calibración.

Los procesos que conforman la matriz inicial son seleccionados del Programa Anual de Calibración<sup>9</sup> proporcionado por el Laboratorio de Metrología donde se

---

<sup>7</sup> MEXICO. GOBIERNO FEDERAL SFP. Programa especial de mejora de la Gestión en la Administración Pública Federal 2008-2012, Vivir mejor. Estados Unidos Mexicanos: Matriz de Correlación, 2008. [consultado 1 agosto 2013]. Disponible en <[http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/work/sites/SFP/resources/LocalContent/1581/7/matriz\\_de\\_correlacion.pdf](http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/work/sites/SFP/resources/LocalContent/1581/7/matriz_de_correlacion.pdf)>

<sup>8</sup> COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL. Guía Pedagógica Para La Gestión Del Cambio Organizacional: Matrices de priorización, 2006. [consultado 05 agosto 2013]. Disponible en <<http://mps1.minproteccionsocial.gov.co/evtmedica/linea%203.1/2.4matrices.html>>

identifican los procesos que hacen uso de instrumentos de medición. Los procesos son los siguientes:

- ✓ Inspección y Ensayo
- ✓ Mecanizados (Civil-Militar)
- ✓ Microfundición
- ✓ Troqueles
- ✓ Fundición (Modelos)
- ✓ Granadas
- ✓ Tratamiento de Superficies
- ✓ Almacén
- ✓ Prensas

Y los factores que permitirán calificar dichos procesos de acuerdo a su relación y grado de importancia son:

- Nivel de Producción- Carga de Trabajo 2013 soportado por el Plan Maestro de Producción 2013, suministrado por el Grupo Ingeniería Industrial de Indumil Fasab.<sup>10</sup>
- Cantidad de Instrumentos utilizados en el proceso para el control de los productos, cuya información se encuentra registrada en el Inventario de Equipos de Medición 2013 - IM FS GCC FO 045<sup>11</sup> suministrado por el Técnico de Calibración. De dicho inventario se pueden identificar los instrumentos pertenecientes a cada proceso como se muestra en el Anexo A.

---

<sup>9</sup> ROMERO CRUZ, Jesús Oswaldo. Programa Anual de Calibración: Equipos de Medición y Ensayo. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab-Aseguramiento Metrológico]. Colombia: s.n., 2013.

<sup>10</sup> INDUMIL FASAB, Programa Maestro de Producción Rev. 01. [Base de datos Synergy Indumil]. Colombia: s.n., 2013.

<sup>11</sup> INDUMIL FASAB, Inventario Equipos de Medición 2013- IM FS GCC FO 045 . [Base de datos Grupo Control Calidad- Laboratorio de Metrología]. Colombia: s.n., 2013.

- Incidencia de los Sistemas de Medición en la calidad del producto.
- Nivel de no conformidades por deficientes sistemas de medición basado en el consolidado de RNC<sup>12</sup> suministrado por el Grupo Control Calidad de Indumil Fasab.

Para poder calificar los procesos en relación a los factores se establecen los niveles de ponderación representados en tres valores (1,3,5) de acuerdo a la repercusión de cada factor en el proceso. El nivel de ponderación que representa cada valor se muestra a continuación:

**Tabla 7.** Criterios de Ponderación para los procesos vs factores

<b>Criterios de Ponderación</b>	
<b>Alta</b>	5
<b>Medio</b>	3
<b>Baja</b>	1

La asignación de valores para la elaboración de esta matriz se realiza con la participación de los supervisores y/o inspectores de cada proceso ya que ellos son quienes conocen la influencia de los sistemas de medición y del proceso como tal en la labor de la empresa.

Una vez ponderada toda la matriz, se procede a realizar la sumatoria de las ponderaciones obtenidas en cada proceso, y mediante el criterio del valor obtenido se establecen los rangos de escala uniforme que determinaran los criterios de calificación, siendo el valor mínimo encontrado de dicha sumatoria, el menor valor del rango de calificación baja y el valor máximo encontrado el mayor valor del

---

<sup>12</sup> INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad, Op. cit..

rango de calificación crítica. Los rangos que se establecen se muestran a continuación:

**Tabla 8.** Rangos para la calificación de la criticidad de los procesos

<b>Criterio de Calificación</b>	
<b>Calificación Baja</b>	4 a 7
<b>Calificación Media</b>	8 a 12
<b>Calificación Crítica</b>	13 a 17

Una vez ponderados y calificados los procesos en relación a los factores, se identifican los procesos críticos en los que se enfocará el estudio, como se visualiza en la siguiente Matriz:

**Tabla 9.** Matriz Procesos vs Factores

		Factor de Calificación				Σ	Calificación
		Nivel de Producción- Carga de Trabajo 2013	Cantidad de Instrumentos utilizados en el proceso para el control de los productos	Incidencia de los Sistemas de Medición en la calidad del producto	Nivel de no conformidades por deficientes sistemas de medición		
Proceso	Inspección y Ensayo	4	4	5	2	15	Calificación Crítica
	Mecanizados (Civil-Militar)	3	5	5	4	17	Calificación Crítica
	Microfundición	5	3	3	5	16	Calificación Crítica
	Troqueles	3	1	5	5	14	Calificación Crítica
	Fundición (Modelos)	4	2	3	3	12	Calificación Media
	Granadas	1	4	3	1	9	Calificación Media
	Almacén	1	1	2	1	5	Calificación Baja
	Tratamientos Superficiales	1	1	1	1	4	Calificación Baja

De la matriz anterior se puede concluir que los procesos críticos que requieren la realización de Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad son:

- Inspección y Ensayo
- Mecanizados (Civil-Militar)
- Microfundición
- Troqueles

Con el juicio generado por parte de los jefes de producción y supervisores de cada proceso se identifican entre todos los instrumentos de medición aquellos que son relevantes y están directamente involucrados en las diferentes operaciones de los procesos ya mencionados como críticos y los factores que permitirán determinar de estos instrumentos los que requieren estudios de r y R con mayor prioridad, aplicando la misma metodología anteriormente nombrada (matriz multicriterio).

Para la elaboración de esta segunda matriz los instrumentos de medición identificados son:

- Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Exteriores – Interiores - Profundidades)
- Micrómetro Digital 0mm-25mm (Exteriores)
- Comparador de Caratula 0mm-10mm (Calibre-Dial)
- Proyector Perfiles Baty
- Rugosímetro Digital
- Calibrador de Alturas Digital 0 mm- 300mm
- Calibrador de Profundidades Digital 0mm-300mm
- Máquina Tridimensional
- Durómetro Análogo Rockwell
- Flexómetro
- Comparador de Caratula 0mm-10mm
- Micrómetro Interiores
- Balanza Gramera
- Reloj Palpador
- Goniómetro
- Palpadores 0mm-1mm

Y los factores que permitirán calificar dichos Instrumentos de medición de acuerdo a su relación y grado de importancia son:

- Frecuencia de uso del Instrumento, criterio dado por el Técnico de Calibración quien conoce el desarrollo de cada proceso y la intervención de los instrumentos en cada uno de estos.
- Incidencia del instrumento en la calidad del producto.
- Falta de formación y competencia por parte del operador en el uso de instrumentos para la medición de productos; información que se sustenta con las Actas de Capacitación<sup>13</sup> en Metrología dadas por los Técnicos del laboratorio de Calibración y Metrología, y por la observación de los Jefes de cada proceso, quienes conocen que operadores no cuentan con capacidades técnicas y lo requieren. Las Actas de Capacitación son suministradas por la Jefe del Grupo Gestión Humana.
- Ausencia de estudios r y R vigentes, teniendo presente que el último estudio realizado en Indumil Fasab “Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad en lo procesos productivos de la Fábrica Santa Bárbara de la Industria Militar Sogamoso”<sup>14</sup>, fue desarrollado en el año 2005.
- Cantidad de operadores que hacen uso del instrumento de medición. Este factor se respalda con la información del “Control de Instrumentos de Medición por persona y proceso 2013”<sup>15</sup> elaborado y suministrado por los Jefes de cada proceso en donde se encuentran relacionados los instrumentos de medición que tiene a cargo cada operador. Adicionalmente los supervisores de cada

---

<sup>13</sup> INDUMIL FASAB. Actas de Capacitación en Metrología. [Base de datos Grupo Gestión Humana Indumil Fasab]. Colombia: s.n., 2013.

<sup>14</sup> CONTRERAS CASTAÑEDA, Edwin Dionisio y DIAZ RODRIGUEZ, Juan Carlos. Estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad en lo procesos productivos de la Fábrica Santa Bárbara de la Industria Militar Sogamoso. Tunja: Universidad de Boyacá Facultad de Ciencias e Ingeniería (Ingeniería Industrial), 2005. 413p.

<sup>15</sup> INDUMIL FASAB. Control de Instrumentos de Medición por persona y proceso 2013. [Base de datos Indumil Fasab]. Colombia: s.n., 2013.

proceso dan a conocer el nombre de los operadores que aun sin tener un instrumento de medición asignado hacen uso de este.

A partir de esta información se identifican los participantes que comprenderán los estudios r y R de acuerdo al proceso al que pertenecen, como se muestra en el Anexo B.

Los niveles de ponderación y los rangos de calificación para esta matriz son los siguientes:

**Tabla 10.** Criterios de Ponderación para los instrumentos vs factores

<b>Criterios de Ponderación</b>	
<b>Alta</b>	5
<b>Medio</b>	3
<b>Baja</b>	1

**Tabla 11.** Rangos para la calificación de la criticidad de los procesos

<b>Criterio de Calificación</b>	
<b>Calificación Baja</b>	9 a 12
<b>Calificación Media</b>	13 a 17
<b>Calificación Crítica</b>	18 a 22

Finalmente los instrumentos y los procesos críticos que estarán involucrados en la realización de los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad se encuentran condensados en la siguiente matriz, tomada de la matriz final dispuesta en el (Anexo C):

**Tabla 12.** Matriz de Multicriterio Resumen Instrumentos vs Factores Críticos

		Factor de Calificación					Σ
		Frecuencia de uso del Instrumento	Incidencia del instrumento en la calidad del producto	Falta de formación y competencia por parte del operador en el uso de instrumentos para la medición de productos	Ausencia de estudios r y R vigentes	Cantidad de operadores que hacen uso del instrumento	
<b>Inspección y Ensayo</b>	Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores - Profundidades)	5	5	2	4	5	21
	Micrómetro Digital 0-25 (Exteriores)	4	5	3	4	2	18
	Comparador de Caratula 0-10 (Calibre-Dial)	4	4	2	5	3	18
	Proyector Perfiles	4	4	2	5	3	18
	Calibrador de Alturas Digital 300	4	4	2	5	4	19
	Calibrador de Profundidades Digital 300	4	4	2	5	4	19
	Durómetro Análogo Rockwell	3	5	2	5	3	18

		Factor de Calificación					Σ
		Frecuencia de uso del Instrumento	Incidencia del instrumento en la calidad del producto	Falta de formación y competencia por parte del operador en el uso de instrumentos para la medición de productos	Ausencia de estudios r y R vigentes	Cantidad de operadores que hacen uso del instrumento	
<b>Mecanizados (Civil-Militar)</b>	Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)	5	5	3	4	5	22
	Micrómetro Digital 0-25 (Exteriores)	3	5	3	4	3	18
	Comparador de Caratula 0-10 (Calibre-Dial)	4	5	3	5	3	20
	Calibrador de Profundidades Digital 300	4	4	2	5	3	18
<b>Micro-fundición</b>	Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)	3	4	5	5	5	22

		Factor de Calificación					Σ
		Frecuencia de uso del Instrumento	Incidencia del instrumento en la calidad del producto	Falta de formación y competencia por parte del operador en el uso de instrumentos para la medición de productos	Ausencia de estudios r y R vigentes	Cantidad de operadores que hacen uso del instrumento	
<b>Troqueles</b>	<b>Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)</b>	4	4	3	5	4	20
	<b>Micrómetro Digital 0-25 (Exteriores)</b>	2	4	4	4	4	18
	<b>Calibrador de Profundidades Digital 300</b>	3	3	3	5	4	18

Como se muestra en la matriz anterior, los instrumentos de medición críticos en cada proceso son:

## **Inspección y Ensayo**

- Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)
- Comparador de Caratula 0-10 (Calibre-Dial)
- Calibrador de Alturas Digital 300
- Calibrador de Profundidades Digital 300
- Micrómetro Digital 0-25 (Exteriores)
- Proyector Perfiles
- Durómetro Análogo Rockwell

## **Mecanizados**

- Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)
- Comparador de Caratula 0-10 (Calibre-Dial)
- Calibrador de Profundidades Digital 300
- Micrómetro Digital 0-25 (Exteriores)

## **Microfundición**

- Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)

## **Troqueles**

- Pie de Rey Digital 150 (Exteriores – Interiores -Profundidades)
- Calibrador de Profundidades Digital 300
- Micrómetro Digital 0-25 (Exteriores)

Una vez realizado el diagnóstico se lograron identificar los procesos e instrumentos de medición en los que se enfocarán los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad, teniendo en cuenta que en dichos procesos las mediciones deben ser proporcionadas por sistemas de medición confiables que garanticen la calidad en el producto final.

## 4 MARCO REFERENCIAL

### 4.1 MARCO TEÓRICO

#### 4.1.1 Análisis del sistema de medición (MSA)

El análisis de sistemas de medición, comúnmente conocido como “MSA” por sus siglas en inglés, tiene como propósito identificar, comprender y cuantificar bien las fuentes de variación (error estadístico) que pueden influir en los resultados producidos por el sistema. Esta comprensión permitirá cuantificar las limitaciones de sistemas de medición específicos.

Es decir, evalúa el método de prueba, instrumentos que miden, y el proceso entero de obtener medidas, para asegurar la integridad de los datos usados para el análisis de la calidad y para entender las implicaciones del error de medida para las decisiones hechas sobre un producto o un proceso.

Para dar cumplimiento a su propósito que es calificar a un sistema de medición para el uso de la cuantificación de su exactitud, precisión y estabilidad, este análisis considera lo siguiente:<sup>16</sup>

- Selección de la medida y el acercamiento correcto
- Determina el aparato de medición
- Determina procedimientos y operadores
- Determina cualquier interacción de la medida
- Calcula incertidumbre de la medida de los dispositivos de la medida y/o de los sistemas individuales de la medida

---

<sup>16</sup> AES STANDARDS- QUALITY PRODUCTS. Sistema de Análisis de Medida, MSA. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <<http://quality.aes-standards.com/msa-es.html>>

Las fuentes de variación en los sistemas de medición pueden clasificarse en dos categorías: <sup>17</sup>

#### **A. Errores de Exactitud - Ubicación (Medida de Valor Promedio vs valor real)**

- **Linealidad:** Indica cómo varía el nivel de exactitud obtenido en la medición en función del tamaño del objeto medido. Da una idea de cómo el tamaño del elemento a medir afecta a la exactitud del sistema de medida.
- **Exactitud:** Es la diferencia entre la medición media observada y un “valor maestro”. Da una idea de lo “centrado” o “ajustado” que está el sistema de medida.
- **Estabilidad:** Es la variación total que se obtendría al medir el mismo elemento repetidas veces usando un mismo aparato de medición. Da una idea de que tan exacto o estable es el sistema con el paso del tiempo.

#### **B. Errores de Precisión - Variación (difusión de los valores de medida)**

- **Repetibilidad:** Es la variación observada cuando el mismo operario mide el mismo elemento de forma repetida usando el mismo aparato. Da una idea de la variación debida a dicho aparato de medida.
- **Reproducibilidad:** Es la variación observada cuando distintos operarios miden el mismo elemento usando el mismo aparato. Da una idea de la variación debida al operario.

Propósitos de Analizar los Sistemas de Medición: <sup>18</sup>

- Cuantificar el error estadístico del Sistema de Medición.
- Determinar si el Sistema de Medición permanece estable.

---

<sup>17</sup> II ANÁLISIS DE SISTEMAS de Medición. Control Estadístico de la Calidad con MINITAB. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <[http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_2.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf)>

<sup>18</sup> REYES, Víctor. Análisis de Sistemas de Medición – MSA. ASQ Ambos Nogales. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <<http://www.asqnogales.org/Presentaciones/MSA.pdf>>

- Disminuir el error estadístico.
- Tomar decisiones adecuadas consistentemente al usar el Sistema de Medición.
- Monitorear y controlar la variación
  - Un sistema de medición con mucha variación puede no ser adecuado para un proceso de manufactura.
  - La variación del sistema de medición puede enmascarar la variación del proceso.
- Aprender como interactúa el sistema de medición con su ambiente.

#### **4.1.2 Estudio de repetibilidad y reproducibilidad**

Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad (r&R) tratan de analizar la variación entre el método de medición y las distintas personas que pueden realizar estas mediciones. Es decir, trata de reducir la variabilidad de la medición de un proceso mediante el estudio de los posibles motivos de variabilidad en la misma, con ello se consigue tener mayor exactitud de medición en el proceso, disminuyendo el gasto tanto de tiempo como de dinero.<sup>19</sup>

¿Cuándo se debe realizar un estudio de repetitividad y reproducibilidad (r&R)?

- Continuamente como parte de un programa de Control Estadístico del Proceso (SPC).
- Antes de implementar las gráficas de control
- Cuando se entregan nuevos instrumentos de medición
- Cuando se ha caído o dañado un dispositivo de medición
- Cuando se ha reducido significativamente la variación del proceso.

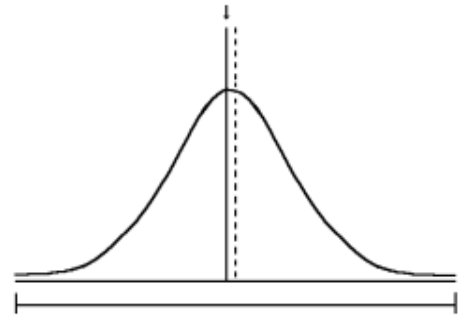
---

<sup>19</sup> GONZÁLEZ GONZÁLEZ, Rodrigo. Estudios R&R : evaluación en la medición. En : Grupo PDCA HOME, 2012. [Consultado 02 mayo 2013]. Disponible en <http://www.pdcahome.com/2340/estudios-rr-evaluacion-en-la-medicion/>

## REPETIBILIDAD (DE MEDICIONES) (r)

De acuerdo con el VIM (Vocabulario Internacional de Metrología) la repetibilidad de resultados de mediciones es:<sup>20</sup>

La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo mensurando bajo las mismas



**Repetibilidad**

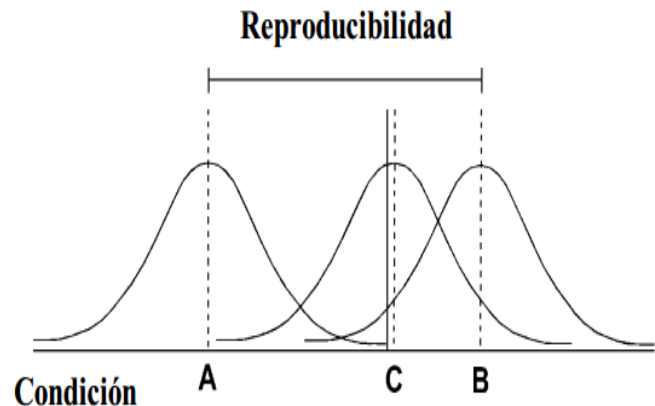
condiciones de medición. Donde: (1) Estas condiciones son llamadas condiciones de repetibilidad. (2) Las condiciones de repetibilidad incluyen: el mismo procedimiento de medición, el mismo observador, el mismo instrumento de medición, utilizado bajo las mismas condiciones, el mismo lugar, repetición en un periodo corto de tiempo. (3) La repetibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados.

Tradicionalmente en los estudios r&R se le conoce como la variabilidad interna a la condición.

## REPRODUCIBILIDAD (DE MEDICIONES) (R)

De acuerdo con el VIM la reproducibilidad de resultados de mediciones es:<sup>21</sup>

La proximidad de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas del mismo



<sup>20</sup> METAS & METRÓLOGOS ASOCIADOS. Aplicación Metroológica de los Estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad). México: La Guía MetAs, 2003. [consultado 13 julio 2013]. Disponible en <<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-11-r-R.pdf>>

<sup>21</sup> METAS & METRÓLOGOS ASOCIADOS. Aplicación Metroológica de los Estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad). México: La Guía MetAs, 2003. [consultado 13 julio 2013]. Disponible en <<http://www.metas.com.mx/guiametas/La-Guia-MetAs-03-11-r-R.pdf>>

mensurando bajo condiciones de medición que cambian. Donde: (1) Una declaración válida de reproducibilidad requiere que se especifique la condición que cambia. (2) Las condiciones que cambian pueden incluir: principio de medición, método de medición, observador, instrumento de medición, patrón de referencia, lugar, condiciones de uso, tiempo. (3) La reproducibilidad puede ser expresada cuantitativamente en términos de la dispersión característica de los resultados. (4) Se entiende que los resultados usualmente son resultados corregidos.

Tradicionalmente en los estudios r&R se le conoce como la variabilidad entre las condiciones.

#### **4.1.2.1 Procedimiento para desarrollar un estudio de repetitibilidad y reproducibilidad**

Los pasos generales a seguir para la realización de los estudios de Repetitibilidad y Reproducibilidad son los siguientes:<sup>22</sup>

- a. Calibrar el instrumento de medición o cerciorarse de que este se encuentre calibrado, para ello es necesario determinar el sesgo del aparato.
- b. Seleccionar de dos a tres operarios que se encuentren dentro del proceso de medición que se quiere evaluar.
- c. Pedir al primer operador que mida diez muestras en orden aleatorio (las muestras deberán ser identificadas del 1 a la 10). Pedir a una tercera persona, imparcial que registre los resultados.
- d. Pedir al segundo operador que mida las mismas diez muestras en orden aleatorio. Registre los resultados y repetir lo mismo con el tercer operador.
- e. Repetir los pasos 2 y 3 para el número requerido de pruebas cerciorándose de que los resultados de la prueba inicial no sean conocidos por los operadores.

---

<sup>22</sup> ZUÑIGA MOLINA, Dorelia. Estudios R y R. En : \_\_\_\_\_ . Aplicación de los estudios R&R a la línea 1mm Std Edge de la empresa AMP AMERMEX. México: Tesis Digitales, 2009. p 1-12. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9130/Capitulo1.pdf>>

- f. Utilizar un software o en su defecto calcular en base a fórmulas los estadísticos del estudio  $r$  &  $R$ .

#### 4.1.2.2 Métodos para el estudio de repetitibilidad y reproducibilidad

- **Método de Rango o el método  $\bar{X}$ -barra/ $R$ :** descompone la variación total en tres categorías: elemento a elemento, repetibilidad, y reproductibilidad.<sup>23</sup>
- **Método de Análisis De Varianza (ANOVA):**<sup>24</sup> El método Anova, conocido también como análisis de varianza es el método más exacto para calcular la variabilidad de un sistema de medición porque posee la ventaja de cuantificar la variación debida a la interacción entre los operadores y las partes. Este método está basado en la misma técnica estadística utilizada para analizar los efectos de los diferentes factores en el diseño de experimentos.

Para un sistema de medición, el método Anova debe realizarse para estudiar simultáneamente los efectos de dos fuentes de variación: Operadores y Partes. La Tabla de Anova para un sistema de medición es la que se muestra en la Tabla 13.

---

<sup>23</sup> II ANÁLISIS DE SISTEMAS de Medición. Control Estadístico de la Calidad con MINITAB. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <[http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_2.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf)>

<sup>24</sup> LLAMOSA R, Luis Enrique; CONTRERAS MEZA, Luis G y ARBELAEZ BOTERO, Marcela. Estudio de repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/ IEC 17025. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira ,2007. p. 455 -460.

Fuente de variación	Suma cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios
Operador	$SSA$	$a - 1$	$MSA = \frac{SSA}{a - 1}$
Partes	$SSB$	$b - 1$	$MSB = \frac{SSB}{b - 1}$
Interacción	$SSAB$	$(a - 1)(b - 1)$	$MSAB = \frac{SSAB}{(a - 1)(b - 1)}$
Error	$SSE$	$ab(n - 1)$	$MSE = \frac{SSE}{ab(n - 1)}$
Total	$SST$	$N - 1$	

Donde: **a** es el número de operadores

**b** es el número de partes

**n** es el número de medidas para cada parte por cada operador

**N** es el número total de datos

Los pasos que se deben seguir para realizar la tabla del Anova de dos factores son:

- I. Se calcula la suma total de todos los datos, como lo muestra la ecuación 1.

$$T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n x_{ijk} \quad (1)$$

Donde  $X_{ijk}$  son cada uno de los datos del experimento.

- II. Se calcula la suma del cuadrado de todos los datos por medio de la ecuación 2.

$$T_x^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 \quad (2)$$

Donde  $X_{ijk}$  son cada uno de los datos del experimento.

- III. Se calcula la suma de los cuadrados totales de las combinaciones de factores dividido por el tamaño muestral respectivo como lo muestra la ecuación 3.

$$T^2_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b T^2_{ij} \quad (3)$$

Donde  $T_{ij}$  es la suma de los datos de cada por cada operador.

- IV. Se calcula la suma de los totales para el factor 1 (Operadores) y se divide por su espacio muestral respectivo por medio de la ecuación 4.

$$T_1^2 = \frac{1}{bn} \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n T^2_{jk} \quad (4)$$

Donde  $T_{jk}$  es la suma de los datos de cada operador.

- V. Se calcula la suma de los totales para el factor 2 (Partes) y se divide por su tamaño muestral respectivo por medio de la ecuación 5.

$$T_2^2 = \frac{1}{an} \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n T^2_{ik} \quad (5)$$

Donde  $T_{ik}$  es la suma de los datos para cada parte.

- VI. Se calculan las sumas de los cuadrados necesarias por medio de las ecuaciones (6), (7), (8), (9) y (10).

$$SSA = T_1^2 - \frac{T^2}{N} \quad (6)$$

$$SSB = T_2^2 - \frac{T^2}{N} \quad (7)$$

$$SSAB = T_c^2 + \frac{T^2}{N} - T_1^2 - T_2^2 \quad (8)$$

$$SSE = T_x^2 - T_c^2 \quad (9)$$

$$SST = T_x^2 - \frac{T^2}{N} \quad (10)$$

Después de obtener la Tabla del Anova, se procede a calcular la variación del sistema de medida, siguiendo los pasos mostrados a continuación:

- I. La repetibilidad del sistema de medida está dada por la ecuación 11.

$$r = 5,15\sqrt{MSE} \quad (11)$$

- II. El porcentaje de repetibilidad se calcula por medio de la ecuación 12.

$$\%r = \frac{r}{T} \times 100\% \quad (12)$$

Donde  $T$  es la tolerancia de la característica medida.

- III. La reproducibilidad del sistema de medida está dada por la ecuación 13.

$$R = 5,15\sqrt{\frac{MSA - MSAB}{bn}} \quad (13)$$

Nota: Si en algún caso el término de la raíz es un número negativo, entonces la reproducibilidad es cero.

- IV. El porcentaje de reproducibilidad se calcula por medio de la ecuación 14.

$$\%R = \frac{R}{T} \times 100\% \quad (14)$$

Donde  $T$  es la tolerancia de la característica medida.

- V. La interacción entre los operadores y las partes se calcula por medio de la ecuación 15.

$$I = 5,15 \sqrt{\frac{MSAB - MSE}{n}} \quad (15)$$

Nota: Si en algún caso el término de la raíz es un número negativo, la interacción entre operadores y partes es cero.

- VI. El porcentaje de la interacción entre los operadores y las partes se calcula por medio de la ecuación (16).

$$\%I = \frac{I}{T} \times 100\% \quad (16)$$

Donde  $T$  es la tolerancia de la característica medida.

- VII. La relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad está dada por la ecuación 17.

$$r \& R = \sqrt{(r)^2 + (R)^2 + I^2} \quad (17)$$

- VIII. El porcentaje de la relación entre la repetibilidad y la reproducibilidad está dada por la ecuación 18.

$$\%r \& R = \sqrt{(\%r)^2 + (\%R)^2 + (\%I)^2} \quad (18)$$

- IX. Se interpretan los resultados aplicando los siguientes criterios:<sup>25</sup>

- ✓ Si  $\% r \& R < 10\%$  el sistema de medición es aceptable.
- ✓ Si  $10\% < \% r \& R < 30\%$  el sistema de medición puede ser aceptable según su uso, aplicación, costo del instrumento de medición, costo de reparación.

---

<sup>25</sup> BOTERO ARBELÁEZ, Marcela; ARBELÁEZ SALAZAR, Osiel y MENDOZA VARGAS, Jairo A. Método Anova utilizado para realizar el estudio de repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira ,2007.pag 533-537.

- ✓ Si  $\% r \& R > 30\%$  el sistema de medición es considerado como no aceptable y requiere de mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.
- ✓ Cuando la reproducibilidad es mucho mayor a la repetibilidad, esto indica que es necesario entrenar al operador tanto en el manejo del instrumento como en la toma de los datos.
- ✓ Cuando la repetibilidad es mucho mayor a la reproducibilidad esto significa que el instrumento requiere de mantenimiento o que no es el adecuado para realizar dicha medición.

#### **4.1.3 Principales fuentes de error en las mediciones**

**Variación de Temperatura:** la temperatura estándar de referencia es de 20 °C para todos los países industrializados si la temperatura cambia, la pieza se expande o se contrae, afectando el resultado de la medición. La deformación de la pieza por efecto del aumento de la temperatura es bastante común en los procesos de mecanizado con retirada de material, lo que implica un aumento de volumen.

**Fuerza de medición:** Normalmente, los procesos simples de medida involucran el contacto entre el instrumento y la pieza, siendo que la fuerza ejercida en este contacto debe ser tal que no cause deformaciones en la pieza o en el propio instrumento.

**Forma de la pieza:** Imperfecciones en la superficie, rectilineidad, cilíndricidad y planitud, exigen un posicionamiento correcto del instrumento de medición.

**Forma de contacto:** Se debe buscar siempre un contacto entre la pieza y el instrumento que genere una línea o un punto.

**Error de paralaje:** Cuando los trazos de una escala principal y otra secundaria (un vernier, por ejemplo) se encuentran en planos diferentes, dependiendo de la dirección de observación, se pueden obtener valores de lectura diferentes, que implican un error. Así, como regla general, la observación de la lectura de un instrumento debe hacerse siempre en la mejor posición perpendicular de la vista en relación a la línea de graduación del instrumento.

**Estado de conservación del instrumento:** Juegos excesivos provocados por desgaste en cualquier parte del instrumento podrán acarrear errores de consideración. Un programa de calibración periódica será la garantía de una medida confiable.

**Habilidad del Operador:** La falta de práctica o desconocimiento del sistema de medición puede ser una fuente importante de errores.<sup>26</sup>

#### **4.1.4 Control estadístico de procesos**

Un proceso industrial está sometido a una serie de factores de carácter aleatorio que hacen imposible fabricar dos productos exactamente iguales. Dicho de otra manera, las características del producto fabricado no son uniformes y presentan una variabilidad. Esta variabilidad es claramente indeseable y el objetivo ha de ser reducirla lo más posible o al menos mantenerla dentro de unos límites. El Control Estadístico de Procesos es una herramienta útil para alcanzar este segundo objetivo y dado que su aplicación se presenta en el momento de la fabricación, puede decirse que no solo contribuye a la mejora de la calidad del proceso sino que también permite aumentar el conocimiento de este.

El Control Estadístico de Procesos se basa en repetir tomas de muestras de manera periódica, calcular la media muestral y analizar la información aportada

---

<sup>26</sup> MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. Principales Fuentes de Error en la Medición. En : Instrumentos para metrología dimensional: Utilización, mantenimiento y Cuidados. Brasil : Mitutoyo Sul Americana Ltda., 1995. p. 5-7.

por el proceso para detectar la presencia de causas asignables y habitualmente se realiza mediante la construcción de un gráfico, denominada Gráfico de Control. Si en dicho gráfico la media cae fuera de los límites de control existe la evidencia de que hay una causa asignable presente (proceso fuera de control).

El análisis de las muestras no se debe detener simplemente construyendo un Gráfico de Medias ya que aún pueden proporcionar más información del comportamiento del proceso. En efecto, la dispersión de los valores muestrales nos puede proporcionar una estimación de la dispersión del proceso y realizar un seguimiento de su evolución. Es sabido que la dispersión de los valores de una población se mide por su desviación típica  $s$  y los estimadores muestrales utilizados más frecuentemente son el recorrido  $R$  (que en nuestro caso dará lugar al Gráfico de Rangos o Recorridos o simplemente Gráfico  $R$ ) y la desviación típica muestral  $S$  (que dará lugar al Gráfico de desviaciones típicas o simplemente Gráfico  $S$ ).<sup>27</sup>

### CONSTRUCCIÓN DEL GRÁFICO $\bar{X} - R$

Los casos que se pueden encontrar son los siguientes:<sup>28</sup>

#### A. Caso $\mu, \sigma$ conocidos

Si  $m$  y  $s$  son conocidos entonces la construcción del gráfico de medias es inmediata a partir de su definición:

$$LCS = \mu + \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma = \mu + A\sigma$$

---

<sup>27</sup> RUIZ, Arturo y ROJAS, Falcó. Control estadístico de procesos: Apuntes de clase. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2006. 74p.

<sup>28</sup> RUIZ, Arturo y ROJAS, Falcó. Control estadístico de procesos: Apuntes de clase. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2006. 74p.

$$LC = \mu$$

$$LCI = \mu - \frac{3}{\sqrt{n}}\sigma = \mu - A\sigma$$

El cálculo de los límites del gráfico de recorridos se hace de la manera siguiente:

$$LCS = (d_2 + 3d_3)\sigma = D_2\sigma$$

$$LC = d_2\sigma$$

$$LCS = (d_2 - 3d_3)\sigma = D_1\sigma$$

### B. Caso $\mu, \sigma$ desconocidos

Si alguno de los dos fuera conocido sería un híbrido de los dos casos i) y ii). Puesto que en este caso no se tiene ningún conocimiento previo, es preciso estimar  $m$  a partir de la media de las medias ( $\bar{\bar{x}}$ ) y  $s$  a partir del recorrido medio ( $\bar{R}$ ) de  $k$  (por ejemplo  $k=25$ ) muestras iniciales.

A partir de  $\bar{\bar{x}}$  y  $\bar{R}$  se trazarían los límites provisionales de la manera siguiente. En el gráfico de medias:

$$LCS = \bar{\bar{X}} + 3\frac{\bar{R}}{d_2}\frac{1}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} + A_2\bar{R}$$

$$LC = \bar{\bar{X}}$$

$$LCI = \bar{\bar{X}} - 3\frac{\bar{R}}{d_2}\frac{1}{\sqrt{n}} = \bar{\bar{X}} - A_2\bar{R}$$

y los límites del gráfico de recorridos serían:

$$LSC = \left(1 + 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \bar{R} = D_4 \bar{R}$$

$$LC = \bar{R}$$

$$LCI = \left(1 - 3 \frac{d_3}{d_2}\right) \bar{R} = D_3 \bar{R}$$

Una vez establecidos los límites de control provisionales para ambos gráficos, se comprobaría si alguna de las muestras está fuera de los límites. En caso afirmativo se procedería a buscar la causa asignable que pudiera explicar esa anomalía y se recalcularía los límites. Estos límites deben recalcularse periódicamente, por ejemplo cada 25 muestras.

## 4.2 MARCO CONCEPTUAL

**METROLOGÍA:** Es la ciencia que tiene por objeto el estudio de los sistemas de medición.

**CALIBRACIÓN:** Conjunto de operaciones que establecen, bajo condiciones específicas, la relación que existe entre los valores indicados por un instrumento y los correspondientes valores conocidos de una magnitud física medida.

**MEDIR:** Es comparar una magnitud hecha según su relación con otra magnitud de la misma especie adoptada como una unidad de referencia.

**PROCEDIMIENTO DE MEDICIÓN:** Conjunto de Actividades bajo una secuencia lógica y detallada que permiten al operador efectuar una medición sin información adicional.

**PATRÓN:** Materialización física de una magnitud (considerada invariable) destinada a realizar o reproducir la correspondiente unidad de medida para transmitirla por comparación a otros medios de medida.

**TRAZABILIDAD:** Propiedad del resultado de una medición o de un valor de un patrón, en virtud de la cual ese resultado se puede relacionar con referencias estipuladas, generalmente patrones nacionales o internacionales, a través de una cadena ininterrumpida de comparaciones que tengan todas incertidumbres determinadas.

**EXACTITUD:** Grado de concordancia entre el resultado de una medida y el valor verdadero.

**ERROR:** Resultado de una medición menos un valor verdadero de la magnitud por medir.

**INCERTIDUMBRE:** Estimación numérica de los límites máximos probables de desviación que existen entre el resultado de una medición y el valor que se admite como verdadero.

**AJUSTE DE UN INSTRUMENTO DE MEDICIÓN:** Operación destinada a llevar un instrumento de medición a un estado de funcionamiento conveniente para su utilización.

**ERROR MÁXIMO PERMITIDO:** Valor extremo del error de medición, con respecto a un valor de referencia conocido, permitido por especificaciones o reglamentaciones, para un sistema o instrumento de medición.

**CORRECCIÓN:** Valor agregado algebraicamente al resultado no corregido de una medición para compensar un error sistemático.

**DIVISIÓN DE ESCALA:** Distancia entre dos marcas sucesivas de una escala de medición.<sup>29</sup>

**RESOLUCIÓN DE UN DISPOSITIVO INDICADOR:** Menor diferencia entre las indicaciones de un dispositivo indicador que se puede distinguir en forma significativa. Para un dispositivo indicador numérico, es el cambio en la indicación cuando la menor cifra significativa cambia en una unidad. Este concepto se aplica también a un dispositivo de registro.<sup>30</sup>

**PRECISIÓN:** Grado de concordancia entre las indicaciones o los valores medidos obtenidos en mediciones repetidas de un mismo objeto, o de objetos similares, bajo condiciones especificadas.<sup>31</sup>

---

<sup>29</sup> INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Instructivo para la calibración de calibradores pie de rey. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2012.

<sup>30</sup> MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. Conceptos Fundamentales /Terminología. En : Instrumentos para metrología dimensional: Utilización, mantenimiento y Cuidados. Brasil : Mitutoyo Sul Americana Ltda., 1995. p. 1-2.

<sup>31</sup>CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en < <http://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf> >

## 5 METODOLOGÍA

Para la consecución de los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad que se realizarán en la Industria Militar Fábrica Santa Barbará, se identifican los procesos, instrumentos de medición y operadores que conforman los sistemas de medición que serán evaluados, con ayuda de un diagnóstico que comprende el análisis del consolidado de los reportes de no conformidad suministrado por el grupo control calidad y la realización de matrices multicriterio que se llevaran a cabo con la participación del Técnico del laboratorio de calibración, los supervisores y/o inspectores de cada proceso.

Se da inicio a los estudios r y R preparando los siguientes recursos:

- ✓ Siete tipos de instrumentos de medición entre los que se encuentran: Comparador de Caratula 0mm-10mm (Calibre-Dial), Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm, Micrómetro Digital 0mm - 25mm (Exteriores), Calibrador Digital de Profundidades 0mm-300mm, Calibrador Digital de Alturas 0mm-300mm, Proyector de Perfiles Baty y Durómetro Análogo Rockwell.
- ✓ Cinco piezas del mismo tipo pertenecientes al proceso en el que se realizará el estudio, seleccionadas aleatoriamente verificando que estas sean adecuadas para ser medidas con determinado instrumento según la capacidad de medición de este (Capacidad de medición = Tolerancia de la pieza/Resolución del instrumento). Dicha selección se hace con apoyo de los Técnicos de Calibración.
- ✓ Una caja con cinco compartimentos para la disposición de las piezas.
- ✓ Alcohol isopropílico y popelina para la limpieza de los instrumentos y área de medición.

- ✓ Un formato de toma de datos en el que se encuentran las diferentes condiciones en las que se realizan los estudios, el instrumento de medición, la pieza y su característica a medir y los participantes que realizarán las diferentes mediciones. Dicho formato se muestra a continuación en la Tabla 14:

**Tabla 14.** Formato para la toma de datos.

REGISTRO DE DATOS ESTUDIO DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD			
PROCESO		N° DE ESTUDIO	
FECHA		TEMPERATURA	
EQUIPO DE MEDICIÓN		CÓDIGO DEL EQUIPO	
PIEZA		ÁREA DE MEDICIÓN DEL INSTRUMENTO UTILIZADO	
ESPECIFICACIÓN		TOLERANCIA	
PARTICIPANTE 1			
PARTICIPANTE 2			
PARTICIPANTE 3			

PIEZA \ INTENTOS	PARTICIPANTE 1			PARTICIPANTE 2			PARTICIPANTE 3		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1									
2									
3									
4									
5									

Adicionalmente se dispone el lugar en el que se realizarán los estudios de Repetibilidad y Reproducibilidad, cerciorándose que cumpla con las siguientes condiciones ambientales:

- ✓ Temperatura de  $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$  <sup>32\*</sup>
- ✓ Humedad Relativa de  $55\% \text{ HR} \pm 10\% \text{ HR}$

<sup>32</sup> MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. Instrumentos para metrología dimensional: Utilización, mantenimiento y Cuidados. Brasil : Mitutoyo Sul Americana Ltda., 1995.

\*Temperatura estándar de referencia es de  $20\text{ °C}$  para todos los países industrializados (norma MERCOSUL NM-ISO 1:96 y NBR-06165 de la ABNT en Brasil).

- ✓ Área de medición amplia y cómoda.

Dichas condiciones las presenta el Laboratorio de Calibración y de Aseguramiento Metrológico de la Fábrica Santa Bárbara en donde se llevaran a cabo los estudios, en caso de no poder realizar los estudios en dichos lugares se acoplará un espacio en el taller del correspondiente proceso, cuidando que se cumpla con las condiciones de temperatura, humedad y comodidad que se requieren.

Ya conociendo los procesos, instrumentos, operadores, recursos y condiciones ambientales se procede a la realización de los estudios de repetibilidad y Reproducibilidad teniendo en cuenta los siguientes pasos:

- I. Preparar las muestras que serán evaluadas guardando confidencialmente la identidad de las mismas.<sup>33</sup> Para ello se hace uso de la caja de cinco compartimentos previamente marcados con un número de identificación (1 a 5) que permitirán disponer las piezas en cada uno de éstos.
  - II. Informar a los Supervisores de cada proceso sobre la realización de los estudios, indicando los grupos formados previamente, para poder coordinar con ellos el momento apropiado para que cada uno de los operadores realice las mediciones sin que se vea afectada la producción de la empresa.
- Dichos grupos conformados por tres integrantes son previamente establecidos por las personas encargadas de dirigir los estudios, teniendo en cuenta que cada uno de los participantes del grupo pertenece al mismo proceso y cuenta con el conocimiento para el manejo adecuado del instrumento de medición. (Anexo D)

---

<sup>33</sup> CHAVEZ MORALES, Martin., et al. Notas de la Materia : Instrumentación y Metrología. Sonora: Universidad De Sonora División De Ingeniería (Departamento De Ingeniería Industrial), 2007. 86p.

- Una vez establecido el orden de participación de los operadores, se llamará uno por uno al lugar establecido para que realicen las mediciones, en las cuales no se empleará un tiempo mayor a quince minutos.
  - El primer participante debe llevar el instrumento de medición que tiene a cargo y que corresponde al tipo de instrumento a ser evaluado en ese momento, en caso de que el participante no tenga asignado un instrumento deberá llevar uno que este asignado al proceso. (un instrumento de medición para los tres integrantes del grupo).
- III. Verificar que el instrumento de medición correspondiente al estudio este calibrado y en buen estado para su funcionamiento, actividad que es llevada a cabo por el Técnico de Calibración.
- IV. Dar a conocer a cada participante a través de una inducción, la importancia de realizar buenas mediciones, el objetivo de la realización de los estudios, la metodología para el desarrollo de estos, los posibles resultados que se puedan llegar a tener y el plan de acción a seguir en los diferentes casos.
- V. Realizar la medición de las cinco piezas, midiendo cada una en tres intentos, obteniendo así un total de quince mediciones por estudio.
- El primer participante realiza la medición de las cinco piezas, las cuales son alcanzadas por uno de los evaluadores siguiendo una secuencia aleatoria (Tabla 15), indicando la dimensión a medir en una zona previamente delimitada. El otro evaluador va registrando el valor dictado por el participante, cuidando de anotar el dato en la casilla de la pieza correspondiente sin que el operador se dé cuenta de los datos que ha obtenido anteriormente ni en que pieza se está registrando.

**Tabla 15.** Secuencia de Medición

<b>SECUENCIA DE MEDICIÓN</b>					
<b>Intento 1</b>	5	3	2	4	1
<b>Intento 2</b>	4	2	5	1	3
<b>Intento 3</b>	2	5	1	3	4

- Posteriormente el segundo participante realiza de la misma forma y con el mismo instrumento las mediciones y se continúa así hasta que el tercer participante complete los tres intentos de medición.
- VI. Ingresar los datos obtenidos en los estudios de  $r$  y  $R$  en la Plantilla de Análisis de Varianza (Anova)<sup>34</sup> suministrada por Indumil y validada por la Organización Nacional de Acreditación (ONAC).
- VII. Realizar el correspondiente análisis numérico y gráfico de los datos con apoyo de la Anova y de las gráficas de control  $\bar{X}$ - barra (Promedio) y  $R$  (Rango).  
Teniendo en cuenta los siguientes criterios:<sup>35</sup>
- Si  $\% r \& R < 10\%$  el sistema de medición es aceptable.
  - Si  $10\% < \% r \& R < 30\%$  el sistema de medición puede ser aceptable según su uso, aplicación, costo del instrumento de medición, costo de reparación
  - Si  $\% r \& R > 30\%$  el sistema de medición es considerado como no aceptable y requiere de mejoras en cuanto al operador, equipo, método, condiciones, etc.

<sup>34</sup>INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova): Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

<sup>35</sup> BOTERO, ARBELÁEZ y MENDOZA. Opcit .pág. 533-537.

En los casos en que los estudios resulten aceptables con reservas o no aceptables, serán repetidos identificando si la mayor variación es atribuida a la repetibilidad o a la reproducibilidad.

- Si el causante de la mayor variación es el operador (reproducibilidad) la repetición se hará con una previa capacitación, que se orientará en base a las observaciones registradas por los evaluadores en el desarrollo de los estudios, en cuanto al estado del instrumento de medición, método y habilidad del operador en la medición, entre otras.
- Si el causante de la mayor variación es la repetibilidad, la repetición se hará con una previa revisión del instrumento que haya sido usado en el estudio inicial, por parte de alguno de los Técnicos de Calibración.

La puesta en marcha de las capacitaciones previas a los estudios que se van a repetir están a cargo del Técnico de calibración quien instruirá al operador sobre el método apropiado para efectuar las mediciones con el instrumento en el que se hayan detectado falencias, a través de prácticas de medición hasta obtener resultados confiables, garantizando que el operador cuenta con las capacidades adecuadas para efectuar las mediciones con el instrumento de medición y se encuentra apto para repetir el estudio r y R.

Finalmente mediante la repetición de los estudios se verifica el cumplimiento de las recomendaciones y acciones correctivas propuestas en la capacitación, garantizando un sistema de medición confiable en los procesos más críticos.

## **6 ESTUDIOS REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

### **6.1 INDUCCIÓN A LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

Antes de dar inicio a los estudios de repetibilidad y reproducibilidad se brinda una inducción a los operarios e inspectores de calidad involucrados en cada uno de estos, sobre el objetivo, las condiciones básicas y la metodología para la aplicación de dichos estudios, así como los parámetros de aceptación y criterios de evaluación de los resultados que estos arrojen.

Adicionalmente se resalta la importancia de elegir el instrumento de medición apropiado que permita medir la magnitud de la pieza garantizando resultados confiables.

Dicha capacitación es realizada en el Laboratorio de Metrología, por los autores del proyecto con previa asesoría del Técnico del Laboratorio de Calibración de la Industria Militar Fasab.

El control de asistencia a la inducción de los estudios tanto para personal de planta como temporal se muestra en el Anexo E.

Una vez culminada la inducción con cada uno de los participantes de los estudios, se procede a la recolección de datos de las mediciones ya establecidas para cada uno de ellos, cumpliendo con los parámetros y condiciones fijados en la metodología.

### **6.2 SELECCIÓN DE PIEZAS PARA LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

La Industria Militar cuenta con un Plan de Inspección para cada una de las piezas que fabrica, en el que se encuentran consignados los requisitos de calidad como

la dimensión y características físicas que ésta exige medir con determinados instrumentos para garantizar la funcionalidad y buen estado de las mismas. Por ello para la selección de las piezas y la determinación de la cota a medir en cada una de estas fue necesario tomar dicho documento como apoyo, junto con la asesoría del Técnico de Calibración.

Para el caso del Durómetro Análogo, actualmente en el proceso no se cuenta con piezas que exijan en su plan de inspección el requisito de dureza, por lo que se toma la determinación de acoplar cinco piezas pertenecientes al Proceso de Micro fundición, “Percutor del revólver”, sometiéndolas a un tratamiento térmico (Normalizado) y a la posterior rectificación con la rectificadora horizontal que permite obtener piezas homogéneas en su estructura para llevar a cabo dicha prueba.

Los nueve tipos de piezas seleccionados, la dimensión a medir y la importancia de dicha dimensión en el producto se muestra en el Anexo F.

### **6.3 RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

Una vez realizados los estudios de repetibilidad y reproducibilidad se procede a hacer un análisis matemático de los resultados en cada uno de los procesos con ayuda de la Plantilla de Análisis de Varianza (Anova)<sup>36</sup> suministrada por Indumil y validada por la Organización Nacional de Acreditación (ONAC). Además de un análisis gráfico soportado en las Cartas de Control X (barra) y R elaboradas para cada estudio. Dicha información se encuentra compilada en el Anexo G.

---

<sup>36</sup>INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

A través de este análisis se logra identificar el estado en que se encuentra el sistema de medición en cada uno de los procesos, su nivel de aceptación y el factor al que se le atribuye la mayor variación en el sistema, sea operador, instrumento o método. En caso de que el factor determinante de dicha variación sea el operador, éste requerirá refuerzo o capacitación para poder con esto garantizar confiabilidad en las mediciones.

Para cada proceso inicialmente se identifican del total de estudios realizados la cantidad de estudios que resultaron aceptables, aceptables con reservas y no aceptables, para tener una noción de cómo se encuentra el sistema de medición en general.

Posteriormente se hace referencia a los instrumentos de medición que presentaron mayor incertidumbre a la hora de medir por parte de los operadores, en los estudios no aceptables y aceptables con reservas, ya que son estos los que requieren ser repetidos para poder garantizar la presencia de un sistema de medición válido para la labor que lleva a cabo la Industria Militar.

Finalmente, para cada tipo de instrumento se identifican los operadores que conforman cada uno de los grupos de estudio y se hace notar aquel o aquellos que necesitan ser capacitados. Dichos operadores son identificados observando el comportamiento de los datos en las gráficas X (barra) y R para cada grupo de estudio (tres integrantes), comparando los resultados de cada operador con los de sus otros dos compañeros. Adicionalmente se hace un análisis comparativo de los resultados de las mediciones de cada operador con los datos de las mediciones de referencia previamente tomados a las piezas por parte del técnico del Laboratorio de Calibración, haciendo uso de un instrumento de medición que se encuentra en perfecto estado.

En el caso de los estudios realizados en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital de 0 mm- 150 mm en el área de medición de profundidades, la selección de operadores para ser capacitados no se llevó a cabo

de la forma anteriormente mencionada, debido a que en el desarrollo de los estudios se pudo apreciar que la mayoría de los operadores presentan dificultades en el uso adecuado de dicho instrumento para la medición de la pieza “Uno (1) Tren de Fuego de Bombas Aéreas ImcXué” ya que es una medición exigente por la tolerancia y forma de la pieza en la zona a ser medida. De acuerdo a esto serán capacitados todos los participantes de los estudios que resultaron aceptables con reservas.

La capacitación en el proceso de Microfundición se orienta con mayor profundidad, ya que muchos de los operadores de este proceso no cuentan con conocimientos sólidos sobre el uso de instrumentos de medición, por lo que se han visto en la necesidad de ir adquiriendo conocimiento empíricamente.

A continuación se da a conocer un análisis específico y claro para cada uno de los procesos: Inspección y Ensayo / Mecanizados / Microfundición / Troqueles.

### 6.3.1 Resultados proceso de inspección y ensayo

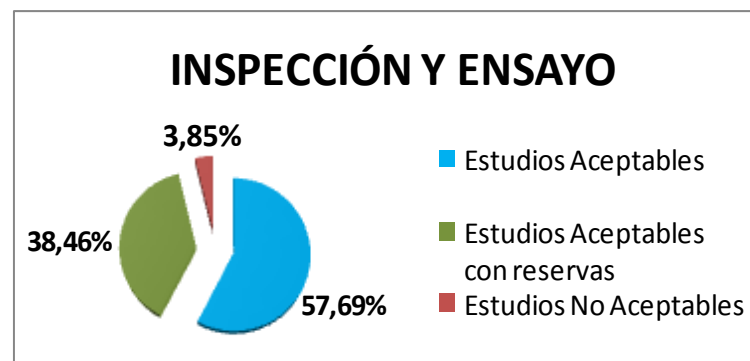
**Tabla 16.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Inspección y Ensayo.

INSPECCIÓN Y ENSAYO		
CLASIFICACIÓN ESTUDIOS	N°	%
Estudios Aceptables	15	57,69%
Estudios Aceptables con reservas	10	38,46%
Estudios No Aceptables	1	3,85%
<b>Total</b>	<b>26</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

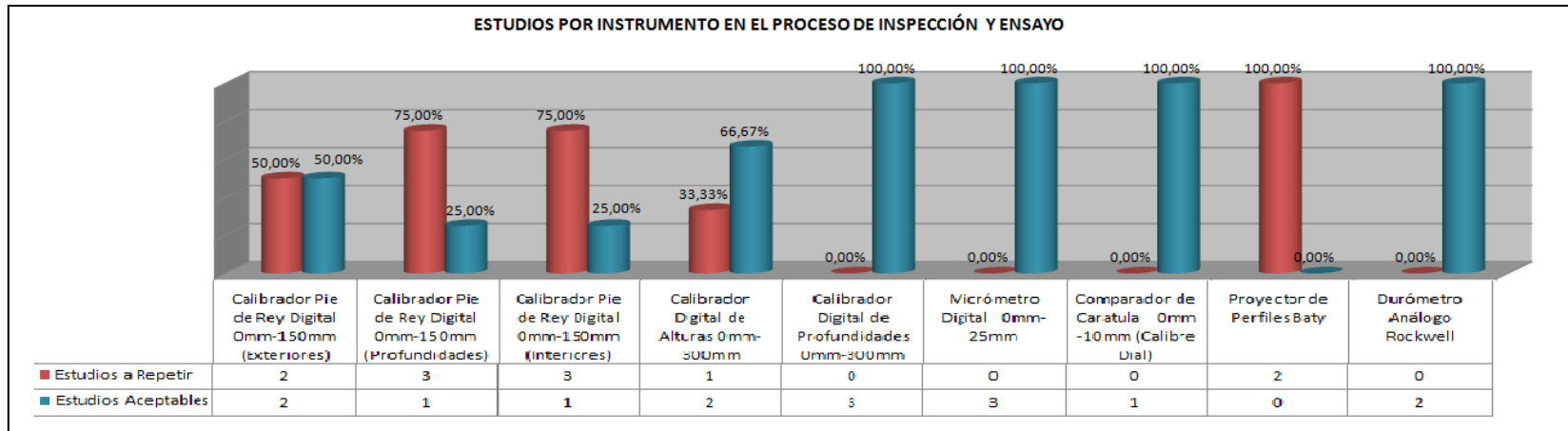
De veintiséis (26) estudios realizados en el Proceso de Inspección y Ensayo once (11) obtuvieron resultados no favorables, diez (10) resultaron aceptables con reservas representando un 38,46% de los estudios efectuados y uno (1) no aceptable correspondiente a 3,85%. Lo que indica que un 42,31% de los estudios deben ser repetidos para garantizar un sistema de medición excelente en los siete instrumentos de medición evaluados.

**Gráfica 9.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Inspección y Ensayo.



**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova): Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

**Gráfica 10.** Clasificación Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Inspección y Ensayo.

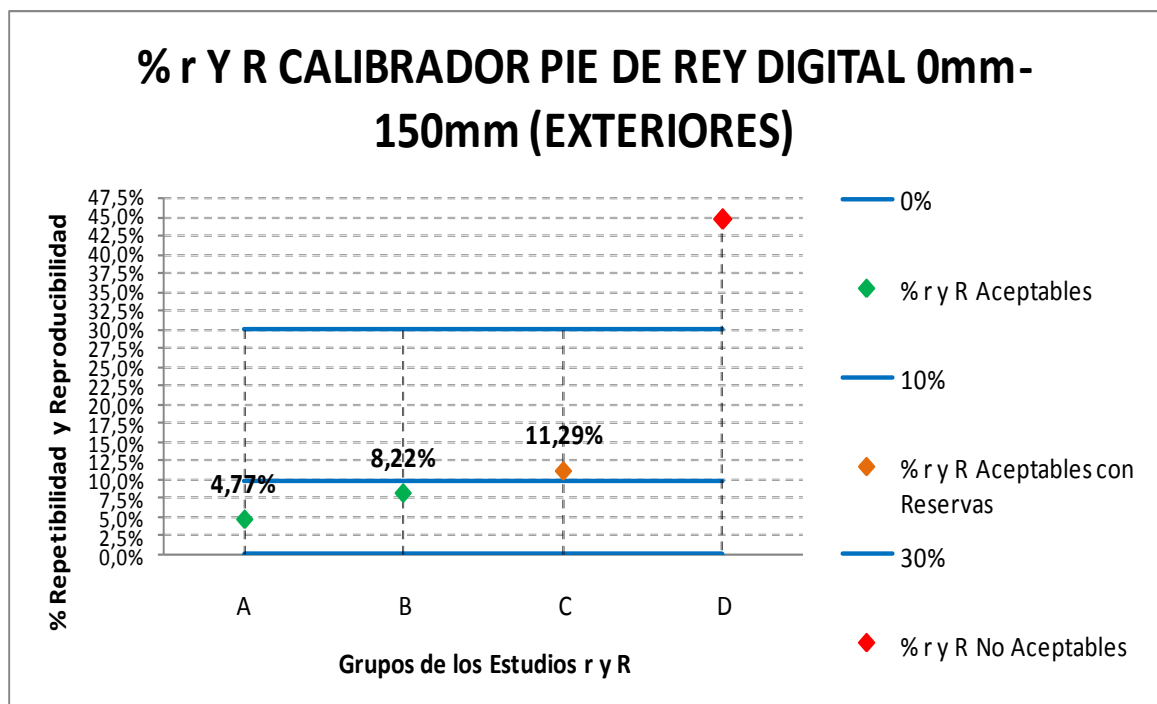


Con los resultados obtenidos en el proceso de Inspección y Ensayo se puede observar que de los siete instrumentos de medición previamente identificados en el diagnóstico y que abarcaron los estudios de r y R en este proceso, los que obtuvieron resultados favorables fueron el Calibrador Digital de Profundidades 0 mm - 300 mm, el Micrómetro Digital 0 mm – 25 mm y el Comparador de Caratula 0 mm -10 mm (Calibre Dial), lo que indica que el proceso de Inspección y Ensayo cuenta con un sistema de medición confiable y valido empleando dichos instrumentos. Adicionalmente se puede identificar que en los inspectores de calidad, el Calibrador Pie de Rey Digital de 0 mm – 150 mm en sus tres áreas de medición (exteriores, interiores y profundidades), es el instrumento que genera mayor error y por ende representa mayor porcentaje de estudios a repetir con un 50%, 75% y 75% respectivamente.

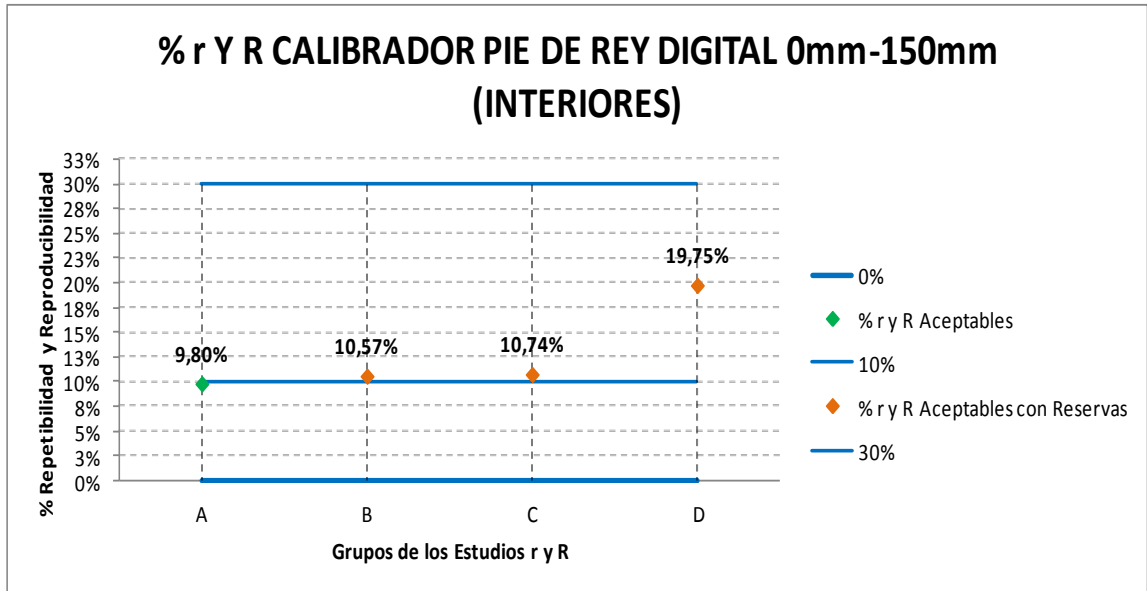
Ya identificados los diferentes instrumentos con los que se obtuvieron estudios sujetos a mejoras, se relaciona para cada uno de ellos, los grupos participantes en los estudios y el porcentaje r y R como se muestra a continuación:

(Los integrantes de los diferentes grupos participantes en el proceso de Inspección y ensayo se encuentran identificados en el Anexo H).

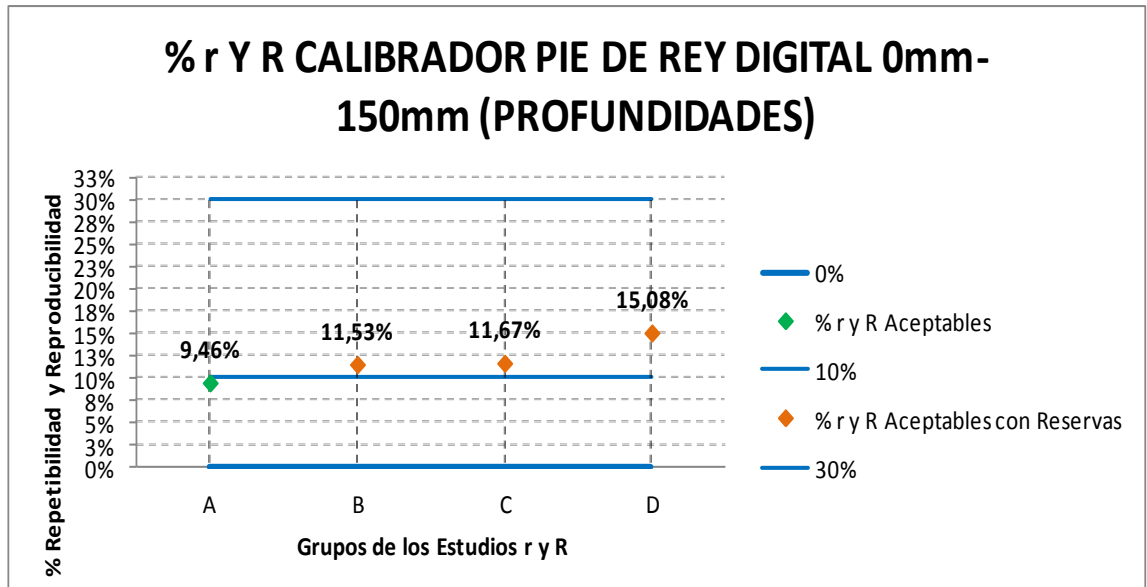
**Gráfica 11.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores en el proceso de Inspección y Ensayo.



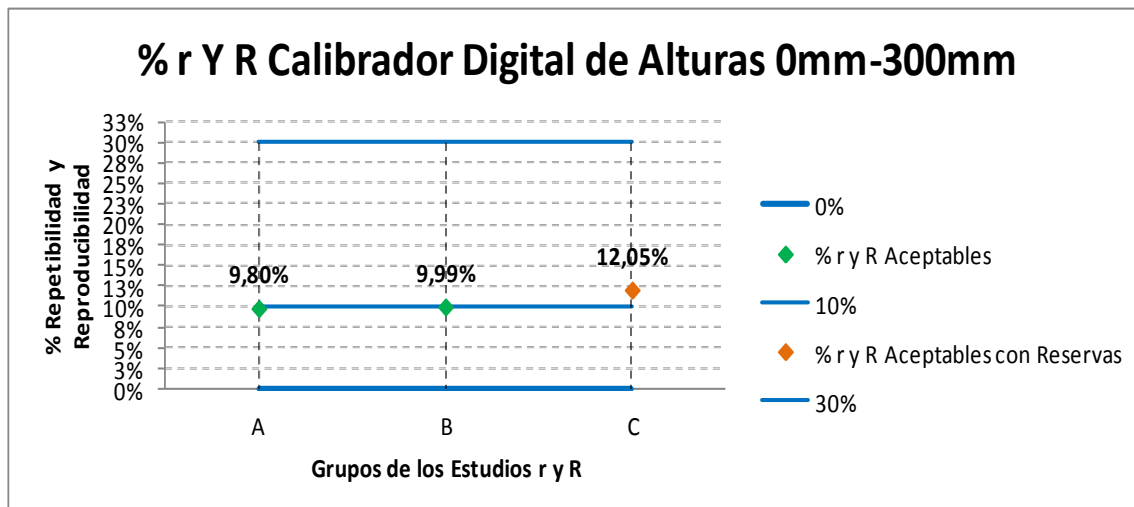
**Gráfica 12.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Inspección y Ensayo.



**Gráfica 13.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Inspección y Ensayo.



**Gráfica 14.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Digital de Alturas en el proceso de Inspección y Ensayo.



**Tabla 17.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio Proyector de Perfiles Baty en el proceso de Inspección y Ensayo.

<b>Proyector de Perfiles Baty</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>GRUPO A</b>	25,31%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>
<b>GRUPO B</b>	17,12%	

En Inspección y ensayo las personas que presentaron mayor dificultad a la hora de medir con algún instrumento de medición se muestran en el Anexo I.

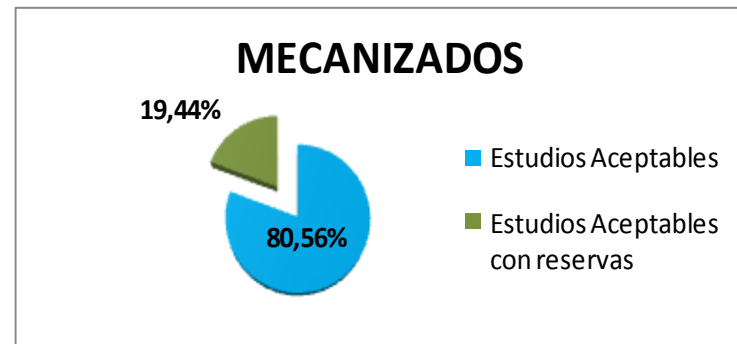
### 6.3.2 Resultados proceso de mecanizados

**Tabla 18.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Mecanizados.

MECANIZADOS		
CLASIFICACIÓN ESTUDIOS	N°	%
Estudios Aceptables	58	80,56%
Estudios Aceptables con reservas	14	19,44%
<b>Total</b>	<b>72</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

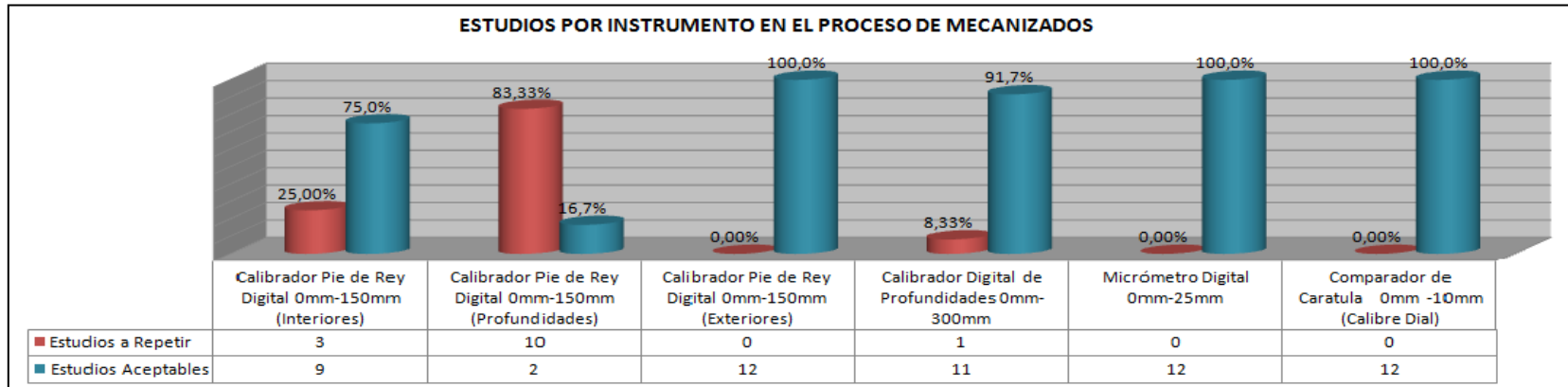
**Gráfica 15.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Mecanizados.



**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

En el proceso de mecanizados se llevaron a cabo setenta y dos (72) estudios de r y R, de los cuales cincuenta y ocho (58) correspondientes al 80,56% del total, resultaron aceptables y el 19,44% restante equivalente a catorce (14) estudios, resultaron aceptables con reservas. Aunque estos últimos estudios están entre los límites aceptables ( $10\% < \% r \text{ y } R < 30\%$ ), se repetirán para garantizar que los sistemas de medición con los que cuenta el proceso de mecanizados se encuentren en un nivel excelente.

**Gráfica 16.** Clasificación Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Mecanizados.



De los cuatro tipos de instrumentos de medición que abarcaron los estudios de r y R en el proceso de Mecanizado, se detectó que el Calibrador Pie de Rey Digital de 0mm – 150 mm en profundidades es el instrumento que presenta mayor incertidumbre a la hora de ser empleado por el operador, situación que se ve reflejada en el porcentaje de estudios a repetir con dicho instrumento equivalente al 83,33%.

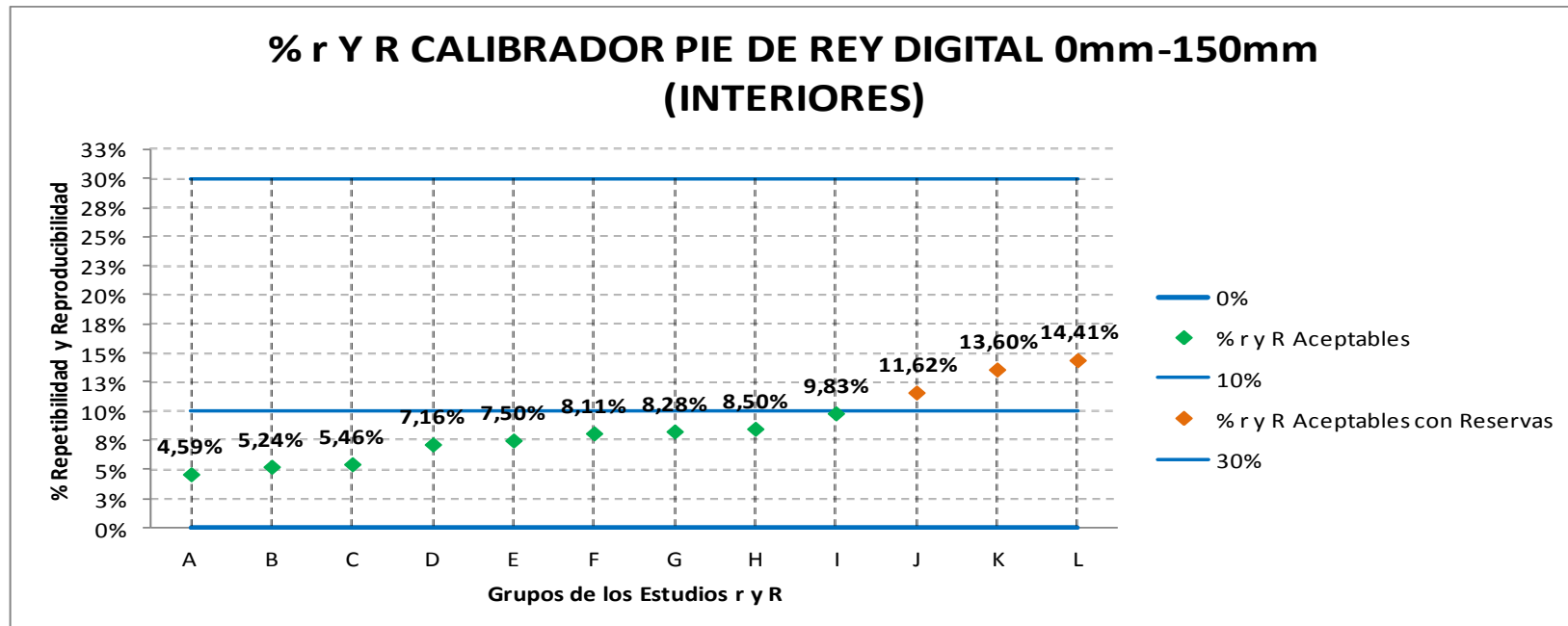
Aunque el porcentaje de estudios a repetir con Calibrador Pie de Rey Digital de 0mm – 150 mm en interiores es la cuarta parte de los estudios efectuados con éste instrumento, cabe resaltar que hay aspectos que de no ser mejorados pueden generar mediciones poco confiables llegando a afectar la calidad del producto.

Así como se detectaron falencias en algunos instrumentos, también se pudo observar que el sistema de medición es confiable cuando se trata del uso del Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Exteriores), Micrómetro Digital 0mm-25mm y el Comparador de Caratula 0mm -10mm (Calibre Dial).

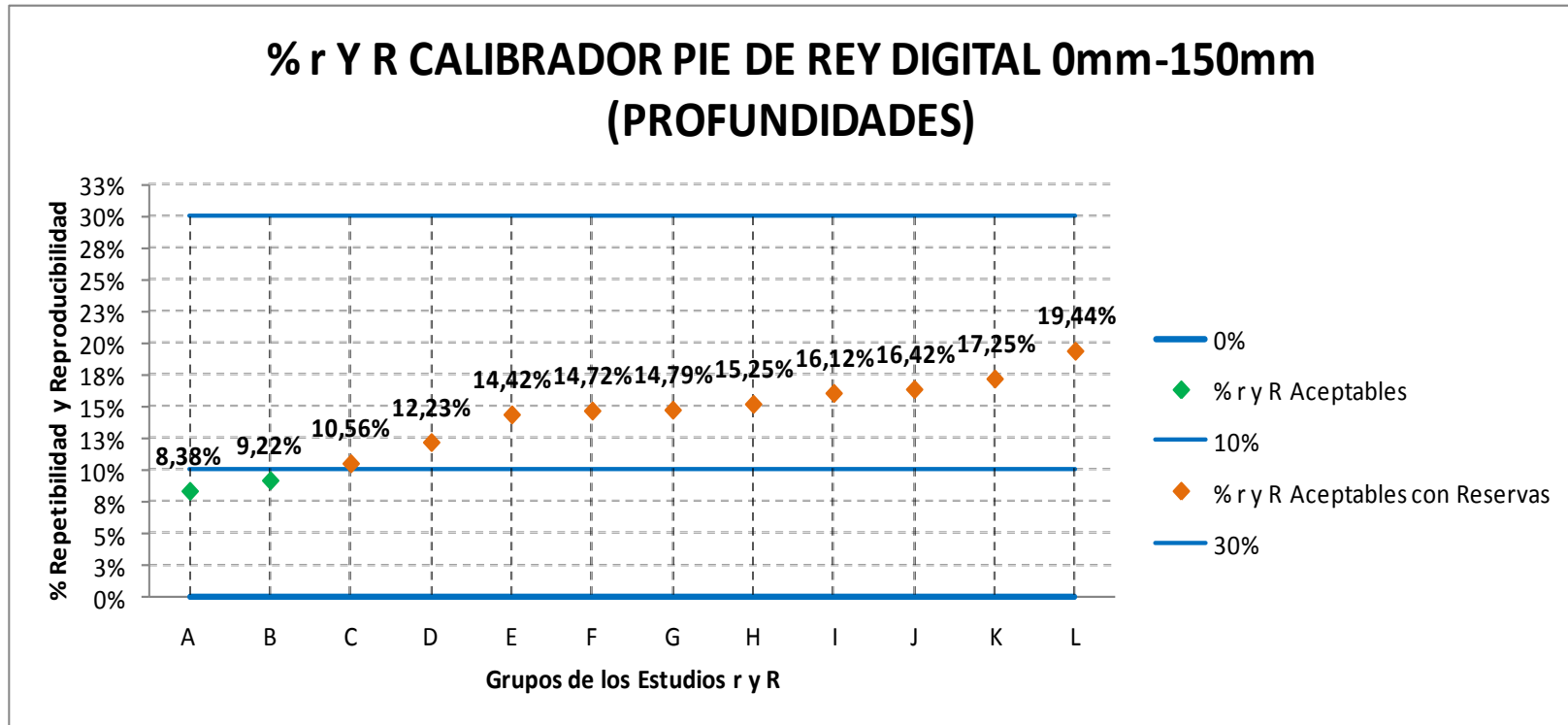
Ya identificados los diferentes instrumentos con los que se obtuvieron estudios sujetos a mejoras, se relaciona para cada uno de ellos, los grupos participantes en los estudios y el porcentaje r y R como se muestra a continuación:

(Los integrantes de los diferentes grupos participantes en el proceso de Mecanizados se encuentran identificados en el Anexo J)

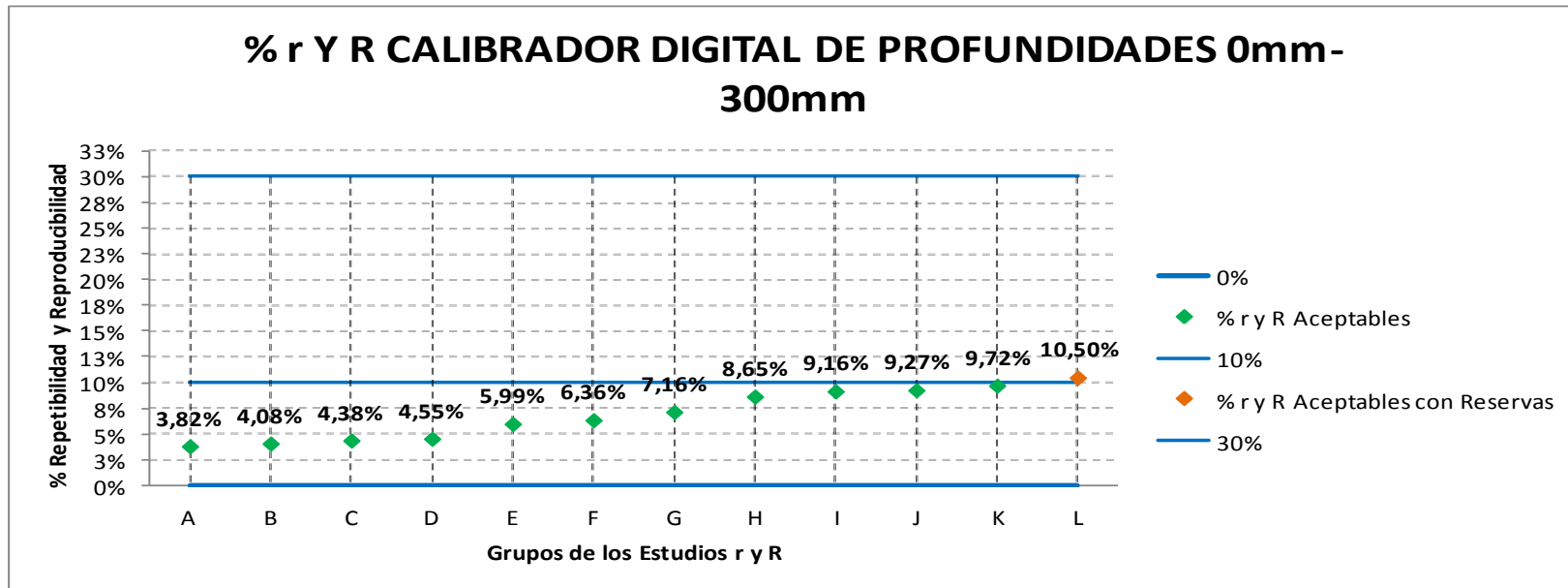
**Gráfica 17.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Mecanizados.



**Gráfica 18.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Mecanizados.



**Gráfica 19.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Digital de Profundidades en el proceso de Mecanizados.



En Mecanizados las personas detectadas con mayor dificultad al momento de efectuar mediciones con algún instrumento de medición de los involucrados en los estudios, se muestran en el Anexo K.

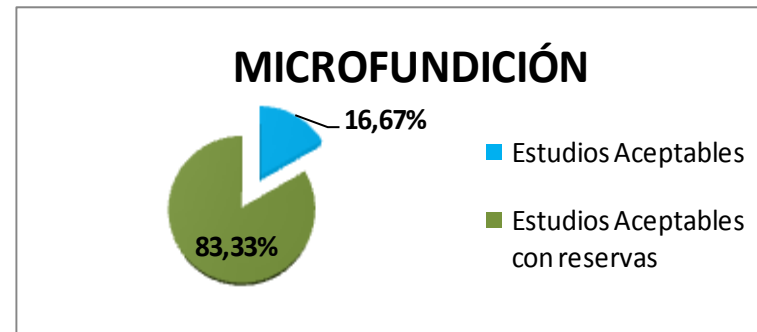
### 6.3.3 Resultados proceso de microfundición

**Tabla 19.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Microfundición.

MICROFUNDICIÓN		
CLASIFICACIÓN ESTUDIOS	N°	%
Estudios Aceptables	1	16,67%
Estudios Aceptables con reservas	5	83,33%
<b>Total</b>	<b>6</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

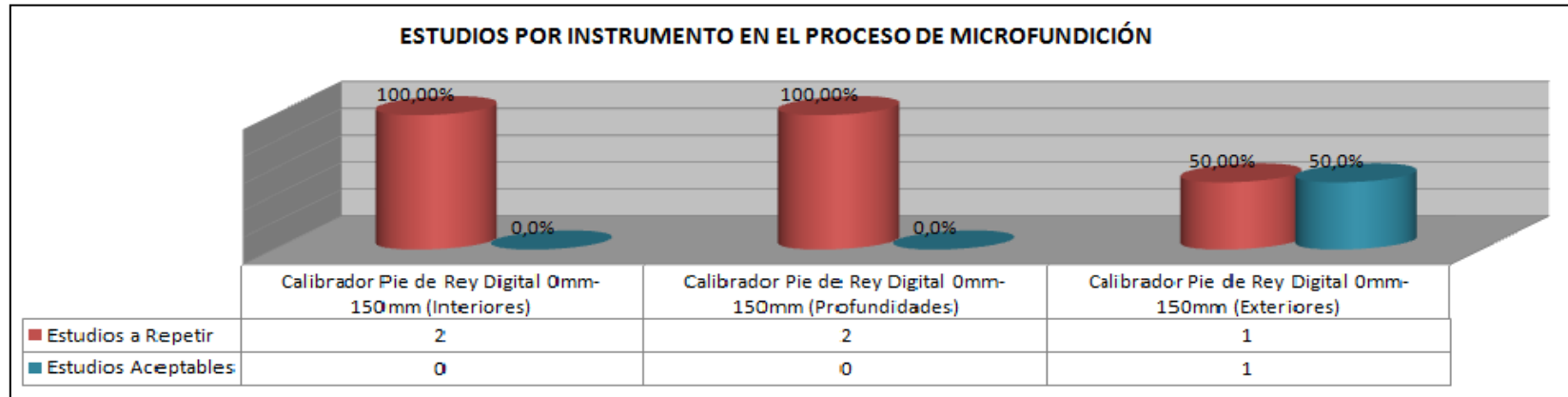
**Gráfica 20.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Microfundición.



**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

Con la información anterior se puede observar que en el proceso de Microfundición los sistemas de medición requieren mejoras pues de los seis (6) estudios realizados, cinco (5) están entre los rangos de estudios aceptables con reservas correspondiente al 83,33%.

**Gráfica 21.** Clasificación Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Microfundición.



Los estudios realizados con Calibrador Pie de Rey Digital de 0mm – 150mm en el área de medición de interiores y profundidades deben ser repetidos en su totalidad, ya que de los dos (2) estudios llevados a cabo en cada caso, ninguno obtuvo un  $r$  y  $R$  bajo el 10% que permitiera considerar los sistemas de medición como aceptables, mientras que en el área de medición de exteriores el 50% de los estudios arrojaron resultados que evidencian un sistema de medición válido y confiable.

Ya identificados los diferentes instrumentos con los que se obtuvieron estudios sujetos a mejoras, se relaciona para cada uno de ellos, los grupos participantes en los estudios y el porcentaje r y R como se muestra a continuación:

(Los integrantes de los diferentes grupos participantes en el proceso de Microfundición se encuentran identificados en el Anexo L).

**Tabla 20.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores en el proceso de Microfundición.

<b>Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Exteriores)</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	3,68%	<b>ACEPTABLE</b>
<b>B</b>	10,15%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>

**Tabla 21.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Microfundición.

<b>Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Interiores)</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	14,58%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>
<b>B</b>	28,68%	

**Tabla 22.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Microfundición.

<b>Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Profundidades)</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	16,83%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>
<b>B</b>	24,86%	

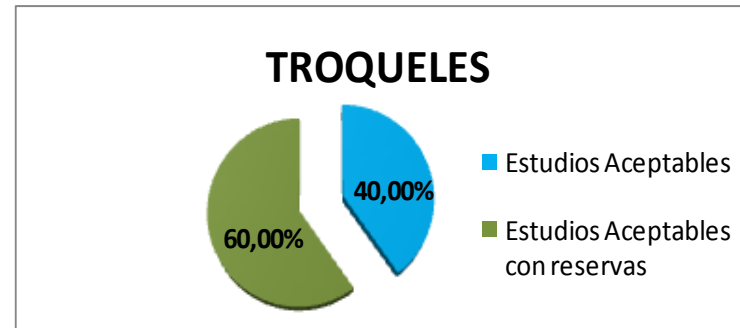
### 6.3.4 Resultados proceso de troqueles

**Tabla 23.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Troqueles.

TROQUELES		
CLASIFICACIÓN ESTUDIOS	N°	%
Estudios Aceptables	4	40,00%
Estudios Aceptables con reservas	6	60,00%
<b>Total Año 2013</b>	<b>10</b>	<b>100,00%</b>

**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012.

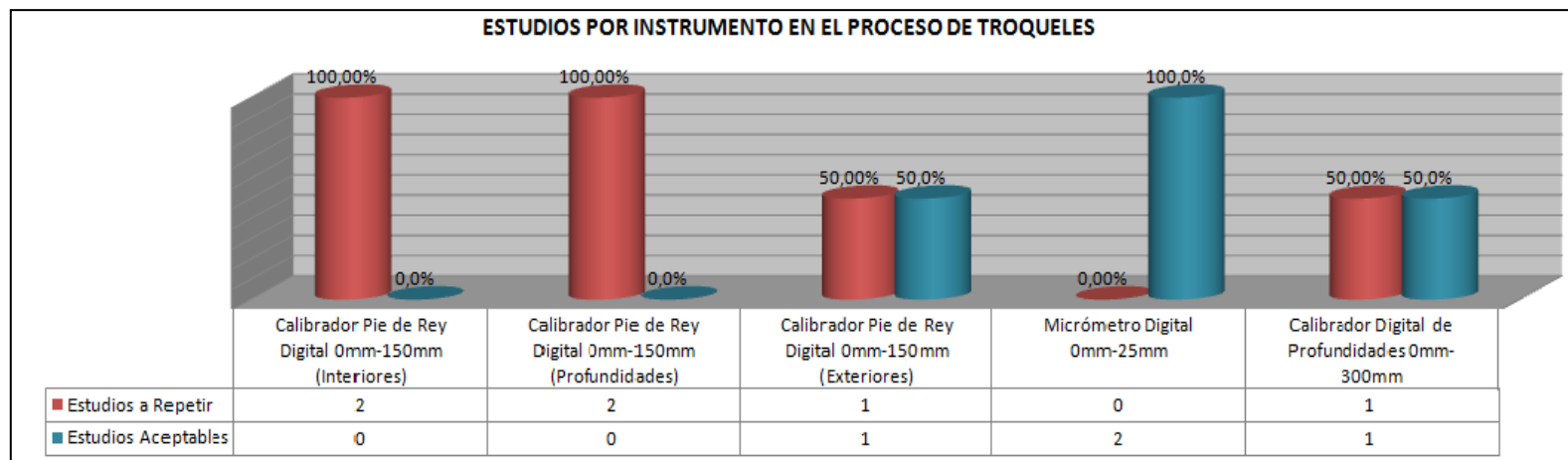
**Gráfica 22.** Clasificación de Aceptación de Estudios r y R en el proceso de Inspección y Ensayo.



**Fuente:** INDUMIL COLOMBIA, Estudio De Repetibilidad Y Reproducibilidad (Anova) : Variabilidad Total Del Sistema Método Por Análisis De Varianza- IM OC OFP FO 074. [Base de datos Indumil], Colombia : s.n., 2012

Una vez clasificados los estudios r y R según el grado de aceptación, se identifica que la proporción de estudios a repetir en el proceso de troqueles corresponde al 60% del total de los estudios realizados, lo que indica que 6 estudios resultaron aceptables con reservas y deben ser repetidos para asegurar la presencia de sistemas de medición confiables.

**Gráfica 23.** Clasificación de Aceptación de Estudios por Instrumento en el Proceso de Troqueles.



De los tres instrumentos de medición involucrados en los estudios en el proceso de Troqueles, el Micrómetro Digital 0mm-25mm es el único instrumento con el que se obtienen resultados favorables y por ende no se requiere la repetición de estudios haciendo uso de este. Por el contrario con el Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Interiores) y el Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Profundidades) es necesario hacer la repetición de los estudios en su totalidad ya que no se evidenciaron resultados confiables.

Ya identificados los diferentes instrumentos con los que se obtuvieron estudios sujetos a mejoras, se relaciona para cada uno de ellos, los grupos participantes en los estudios y el porcentaje r y R como se muestra a continuación:

(Los integrantes de los diferentes grupos participantes en el proceso de Troqueles se encuentran identificados en el Anexo M).

**Tabla 24.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores en el proceso de Troqueles.

<b>Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Exteriores)</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	8,34%	<b>ACEPTABLE</b>
<b>B</b>	17,09%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>

**Tabla 25.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores en el proceso de Troqueles.

<b>Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Interiores)</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	13,60%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>
<b>B</b>	15,38%	

**Tabla 26.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades en el proceso de Troqueles.

<b>Calibrador Pie de Rey Digital 0mm-150mm (Profundidades)</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	16,13%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>
<b>B</b>	18,75%	

**Tabla 27.** Porcentajes r y R de cada grupo de estudio en Calibrador Digital de Profundidades en el proceso de Troqueles.

<b>Calibrador Digital de Profundidades 0mm-300mm</b>		
<b>Grupo</b>	<b>% r y R</b>	
<b>A</b>	6,33%	<b>ACEPTABLE</b>
<b>B</b>	10,28%	<b>ACEPTABLE CON RESERVAS</b>

## **7 REPETICIÓN DE LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

### **7.1 CAPACITACIÓN PREVIA A LA REPETICIÓN DE LOS ESTUDIOS DE REPETIBILIDAD Y REPRODUCIBILIDAD**

Una vez analizados los datos e identificada la(s) persona(s) causante(s) de la obtención de resultados no confiables que generan estudios aceptables con reservas y no aceptables en cada proceso, se da paso a la realización de una capacitación individual enfocada a la falencia detectada en cada operador.

Dicha capacitación está a cargo del Técnico de Calibración y es llevada a cabo en el Laboratorio de Calibración en donde se cuenta con los instrumentos de medición y condiciones adecuadas para su desarrollo como se ve en el Anexo N.

Inicialmente se informa a los Jefes de cada proceso los resultados de los estudios y se coordina con ellos la posterior asistencia a la capacitación de los participantes que lo requieran.

La capacitación básicamente da a conocer al operador la metodología para el uso adecuado del instrumento de medición, a través de prácticas en donde el operador en ocasiones repetidas efectúa mediciones en diferentes piezas, que permiten detectar las falencias y corroborar los errores observados en el desarrollo del estudio, aspectos que una vez detectados son resaltados y corregidos por el Técnico de Calibración.

Para verificar que el usuario ha comprendido la metodología y se encuentra en condiciones apropiadas para aplicarla, el Técnico del laboratorio toma la medición de varias piezas guardando confidencialmente el resultado obtenido, y posteriormente hace medir al operador las mismas piezas, en la misma dimensión, con el mismo instrumento y bajo las mismas condiciones. Este procedimiento se hace hasta garantizar que el participante arroja datos confiables y por consiguiente se encuentra apto para repetir el estudio.

El control de asistencia a la capacitación previa a la repetición de los estudios, tanto para personal de planta como temporal se muestra en el Anexo O.

La metodología que se empleó para la repetición de estudios r y R y que se recomienda seguir para próximos estudios y algunas observaciones y recomendaciones que pueden hacerse en cuanto al uso de determinados instrumentos de medición, se encuentran en el “Instructivo para la repetición de estudios r y R”. (Anexo P).

Las observaciones y recomendaciones hechas para cada tipo de instrumento se muestran a continuación:

➤ **CALIBRADOR PIE DE REY DIGITAL DE 0 mm - 150 mm (EXTERIORES, INTERIORES Y PROFUNDIDADES)**

**Observaciones:**

- ✓ La calibración de dicho instrumento solo se enfoca en las puntas de medición de exteriores. La barra de profundidad y las puntas de medición de interiores solo son verificadas ya que estas son usadas para aproximar medidas, sin embargo en algunos casos son empleadas para arrojar medidas de la pieza de acuerdo al plano, cuando la superficie de medición no permite hacer uso de otro instrumento más confiable.
- ✓ En el Calibrador Pie de Rey Digital de 0 mm – 150 mm la lectura mínima posible es de 0,01 mm (una centésima), por lo tanto las mediciones que se realicen con dicho instrumento y que se encuentren próximas a este rango generarán que el sistema interno del instrumento aproxime por encima o por debajo de la medida, por ejemplo si la medida real de una pieza es de 10,143 mm el instrumento arrojará un valor de 10,14 mm y si la medida es de 10,147 mm el instrumento arrojará un valor de 10,15 mm, dicha incertidumbre se denomina incertidumbre por resolución del instrumento.

- ✓ Se puede presentar incertidumbre con el calibrador pie de rey digital en el área de profundidades a la hora de hacer la lectura del valor de la medida debido al diseño del instrumento, ya que al ser usado por personas diestras, el rodillo de apoyo para el pulgar que facilita deslizar el instrumento por el sistema de medición queda en sentido contrario, haciendo que la pantalla e indicador de modo no sean visibles, lo que obliga al operador hacer un giro del instrumento una vez tomada la medida.

### **Recomendaciones:**

- ✓ Cada operador antes de realizar cualquier medición debe comprobar que el Calibrador se encuentre patronado en el punto cero para evitar desfases en las mediciones, de no cumplir esta condición, debe ajustarlo según las indicaciones. De igual manera tanto en interiores como en exteriores debe verificar el instrumento con un patrón de medida que es proporcionado por el laboratorio de calibración, para identificar el posible error que éste presente y a su vez estandarizar la presión que deba ejercer para llevar a cabo su medición.
- ✓ Se deben limpiar las caras de medición antes de hacer uso del instrumento, con ayuda de un papel grueso que no deje pelusa, jalándolo hacia afuera de las puntas. En caso de que queden residuos de pelusa en la base o en las orillas de las puntas de medición estas podrán ser retiradas con el dedo.
- ✓ Para prevenir el deterioro y fallas en el funcionamiento del calibrador, es pertinente hacer limpieza del mismo antes y después de su uso, para evitar la presencia de partículas extrañas (polvo, suciedad, aceite) en las caras de medición, el cursor y tarjeta electrónica.

- ✓ A la hora de hacer uso del área de medición de exteriores, se deben colocar y medir las piezas de trabajo tan cerca a la superficie de referencia como sea posible, asegurándose que la superficie de las puntas de medición estén en contacto uniforme con la pieza de trabajo.
- ✓ Cuando se requiera realizar mediciones internas se debe asegurar que las puntas de medición de interiores estén lo más adentro posible de la pieza a medir. En caso de medir diámetros internos, se deben abrir las puntas del calibrador al tiempo que se va girando levemente la pieza, para que esta se posicione en su máximo diámetro y así obtener la medida correcta.
- ✓ En el momento de medir una profundidad, se debe tener en cuenta que hay que posicionar primero la base del instrumento en la pieza y posteriormente ir aproximando la barra de profundidades a la superficie que será medida.
- ✓ Se recomienda en profundidades, para la obtención de una medición más confiable, tomar la pieza en la mano, pues esto permitirá mediante el tacto detectar cuando el calibrador está asentando correctamente en la pieza, eliminando así cualquier variación que se pueda presentar por inestabilidad en el posicionamiento del instrumento.
- ✓ El uso del calibrador pie de rey en profundidades requiere mayor precisión ya que existen piezas que deben ser medidas en esta dimensión y no cuentan con una superficie amplia para el posicionamiento de la base del instrumento, por lo que el operador debe ser cuidadoso a la hora de hacer uso de éste, o si es posible recurrir a otro tipo de instrumento que genere menor incertidumbre.
- ✓ Cuando se debe medir la profundidad de un lote grande de piezas se recomienda el uso de un adaptador para medición de profundidades, ya que este simula el funcionamiento de un Profundímetro, generando mayor

comodidad al operador para su uso, debido a su amplia superficie de medición y estabilidad.

➤ **CALIBRADOR DIGITAL DE PROFUNDIDADES DE 0 mm – 300 mm**

**Observaciones:**

- ✓ En algunas piezas la medición con dicho instrumento presenta dificultades ya que la superficie de apoyo no es lo suficientemente amplia para garantizar estabilidad del instrumento.

**Recomendaciones:**

- ✓ Es pertinente antes de realizar una medición con el Calibrador Digital de Profundidades verificar el punto cero del instrumento, para evitar desfases en los resultados de las mediciones.
- ✓ Verificar la perpendicularidad entre el instrumento de medición y la pieza, para garantizar que las mediciones se lleven a cabo en el punto de contacto más adecuado.

➤ **CALIBRADOR DIGITAL DE ALTURAS DE 0 mm – 300 mm**

**Observaciones:**

- ✓ Debido a la estructura y funcionalidad del instrumento de medición cada pieza a medir requiere de un montaje adecuado que facilite su medición. Generalmente dichos montajes se realizan usando bloques magnéticos que dan estabilidad a la pieza.

### **Recomendaciones:**

- ✓ Las mediciones con el calibrador de alturas deben realizarse sobre una superficie plana y nivelada en lo posible una mesa de medición en mármol de granito, que esté libre de cualquier sustancia o residuo que impida el libre y fácil deslizamiento del instrumento al ser aproximado hacia la pieza que será medida.
- ✓ La pieza debe ser ubicada en forma paralela y perpendicular tanto al mármol como al instrumento de medición, para realizar una medición correcta y confiable.
- ✓ El palpador debe estar correctamente ubicado de acuerdo a la superficie que será medida evitando un mal contacto y uso del instrumento.

### **➤ PROYECTOR DE PERFILES BATY**

#### **Observaciones:**

- ✓ La gran incertidumbre y poca repetibilidad en los resultados que se obtienen con este equipo de medición, se atribuyen a la alta resolución del instrumento y a la apreciación visual del operador a la hora de hacer coincidir los ejes de referencia de la pantalla con las caras de la pieza a medir.

#### **Recomendaciones:**

- ✓ Para dar inicio a una medición adecuada con el Proyector de Perfiles, es necesario verificar el posicionamiento en el punto cero del goniómetro tanto de la pantalla como de la mesa del equipo.

- ✓ La posición correcta de la pieza para su medición con este instrumento, debe ser perpendicular y paralela a la mesa de medición.
- ✓ Asegurar la correcta coincidencia de los ejes de referencia de la pantalla con la pieza para la toma de mediciones, haciendo uso del acercamiento fino del instrumento.

## **7.2 AJUSTES Y CASOS ESPECIALES PARA LA REPETICIÓN DE ESTUDIOS**

Debido a situaciones particulares encontradas en el desarrollo de los estudios se hizo necesario hacer algunas modificaciones y ajustes en ciertos factores para poder garantizar un buen desarrollo de la repetición de los estudios. Dichas modificaciones se muestran a continuación:

Los estudios de repetibilidad y reproducibilidad son repetidos una vez los integrantes de los diferentes grupos se encuentran en condiciones de efectuar mediciones confiables.

Estas repeticiones son llevadas a cabo siguiendo la misma metodología de los estudios iniciales, empleando el mismo instrumento de medición, las mismas piezas y la integración de los mismos operadores para cada grupo.

- Vista en el proceso de Inspección y Ensayo la dificultad y poca repetibilidad de las mediciones por parte de los inspectores de calidad a la hora de emplear el Proyector de Perfiles Baty se decidió para la repetición del estudio cambiar la pieza Soporte del Fulminante de la Espoleta V9 - V19p tomada en el estudio inicial, por la Barra de Manija del Lanzador de Granadas 40mm MGL MK1, ya que esta última presenta una forma más simple y definida que reduce la variación en dicha medición y a su vez disminuye la presencia de incertidumbre por apreciación del operador.

- Debido a la reducción de la carga de trabajo presentada en Indumil Fábrica Santa Bárbara en el mes de julio de 2013, que conllevó a la terminación del contrato laboral de algunos trabajadores con vinculación temporal, se vio la necesidad de reagrupar a los integrantes de algunos estudios, ya que siete (7) de estos operadores desvinculados hacían parte de los estudios desarrollados inicialmente en el proceso de Mecanizados.
  
- A mediados del mes de Septiembre de 2013 se presentó un accidente laboral en el que se vio directamente involucrado un operador de la planta de Mecanizados participante en los estudios, quien por su estado de salud e incapacidad medica no puede llevar a cabo la repetición del estudio aun cuando ya estaba capacitado, por lo que su grupo de estudio es también reagrupado.

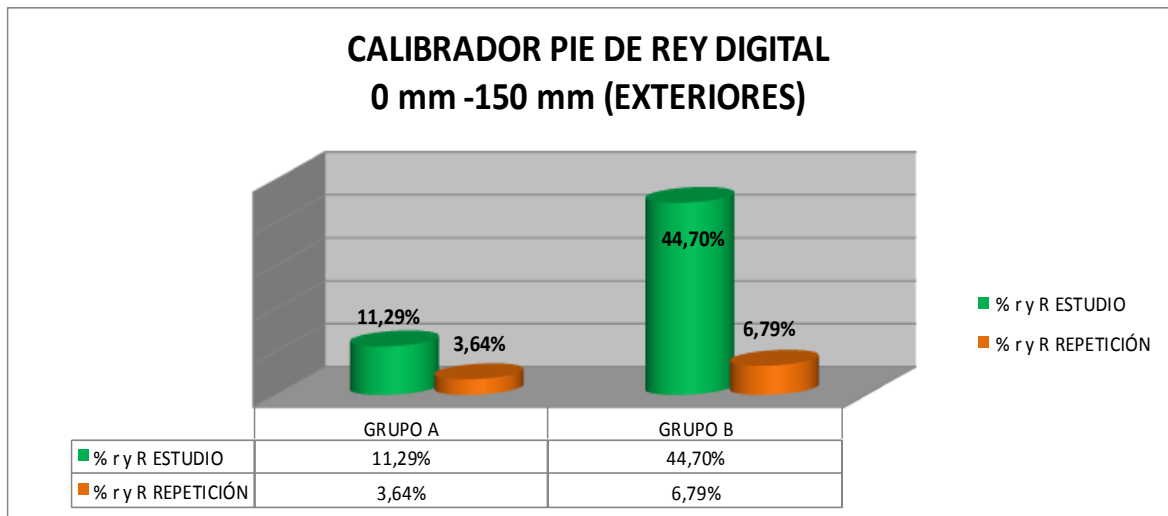
### **7.3 PORCENTAJE r Y R ESTUDIOS INICIALES VS PORCENTAJE r Y R REPETICIÓN DE ESTUDIOS**

Los resultados del % r y R obtenidos en la repetición de los estudios en comparación con los obtenidos en los estudios iniciales se muestran a continuación para cada uno de los instrumentos de medición, en cada uno de los procesos.

#### **7.3.1 Comparación % r y R en el proceso de inspección y ensayo**

- ❖ Los integrantes de cada uno de los grupos que se muestran en las gráficas de comparación de % r y R en el proceso de Inspección y Ensayo se encuentran identificados en el Anexo Q.

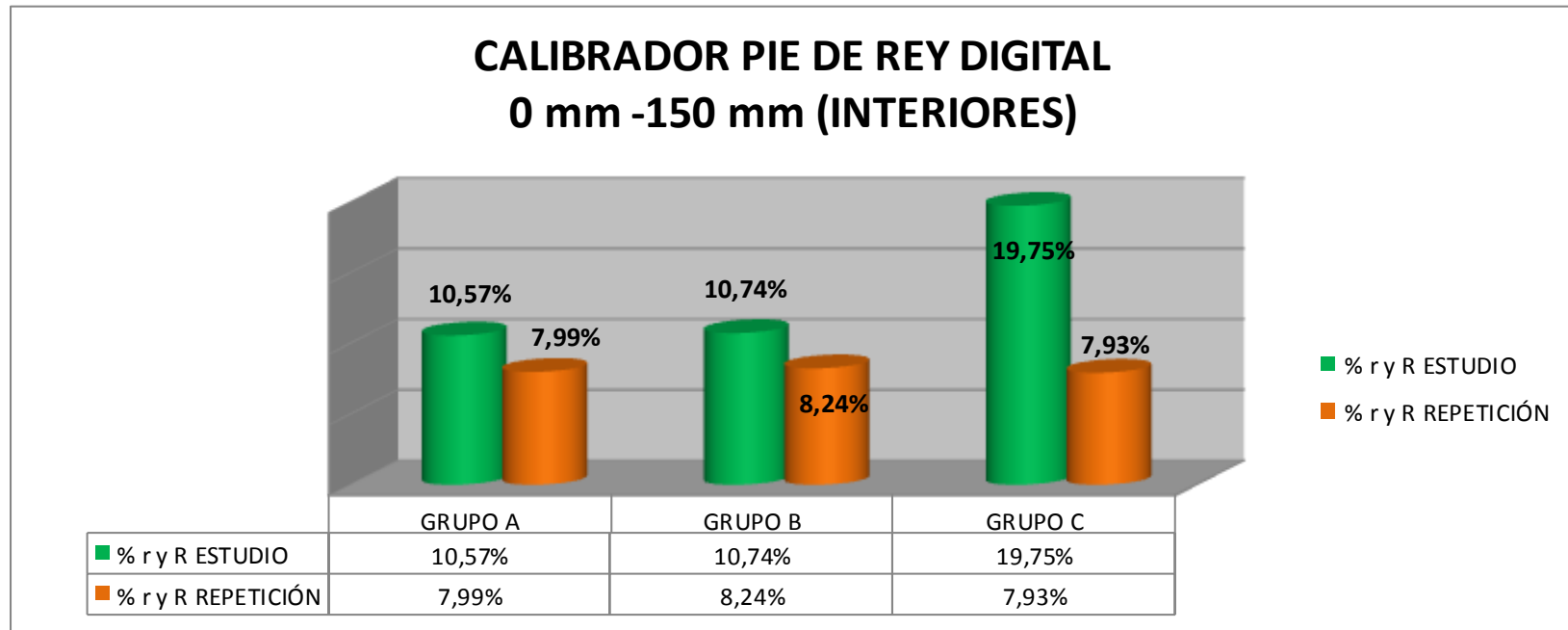
**Gráfica 24.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores.



En el proceso de Inspección y Ensayo se realizó la repetición de dos estudios con calibrador pie de rey digital en exteriores, en donde el % r y R del estudio inicial para uno de los casos fue de 44,70% lo que indica que el estudio es no aceptable y requiere de mejoras considerables. Para el otro caso el % r y R fue de 11,29% lo que posiciona al estudio en aceptable con reservas que aunque demuestra un sistema de medición válido, es pertinente repetirlo para garantizar la presencia de un sistema de medición excelente.

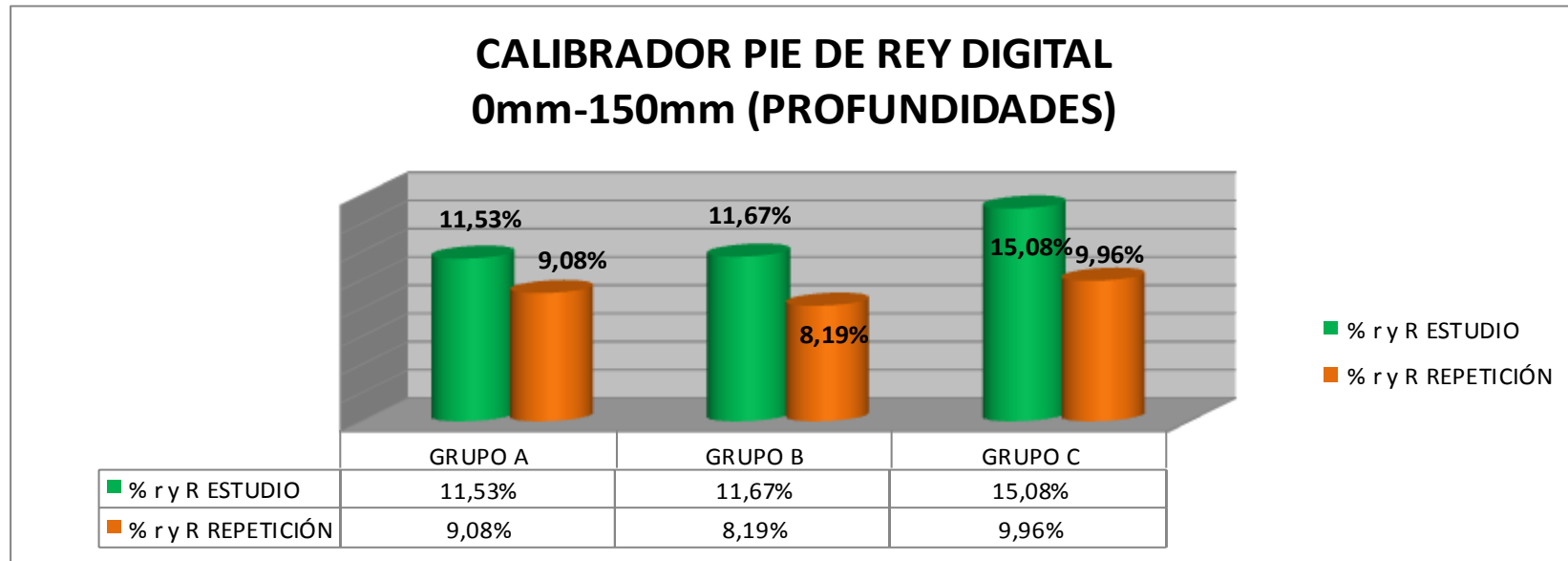
Una vez repetidos estos estudios contando con la previa capacitación de los integrantes identificados con fallas en la medición, se lograron obtener resultados favorables para los sistemas de medición. En el caso del estudio que inicialmente resultó no aceptable, el % r y R se redujo en un 37,91% ubicándose en un nivel de estudio aceptable con un % r y R del 6,79%, a su vez el estudio que resultó inicialmente aceptable con reservas, redujo este porcentaje en un 7,65% lo que permitió obtener un sistema de medición excelente con un 3,64%.

**Gráfica 25.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores.



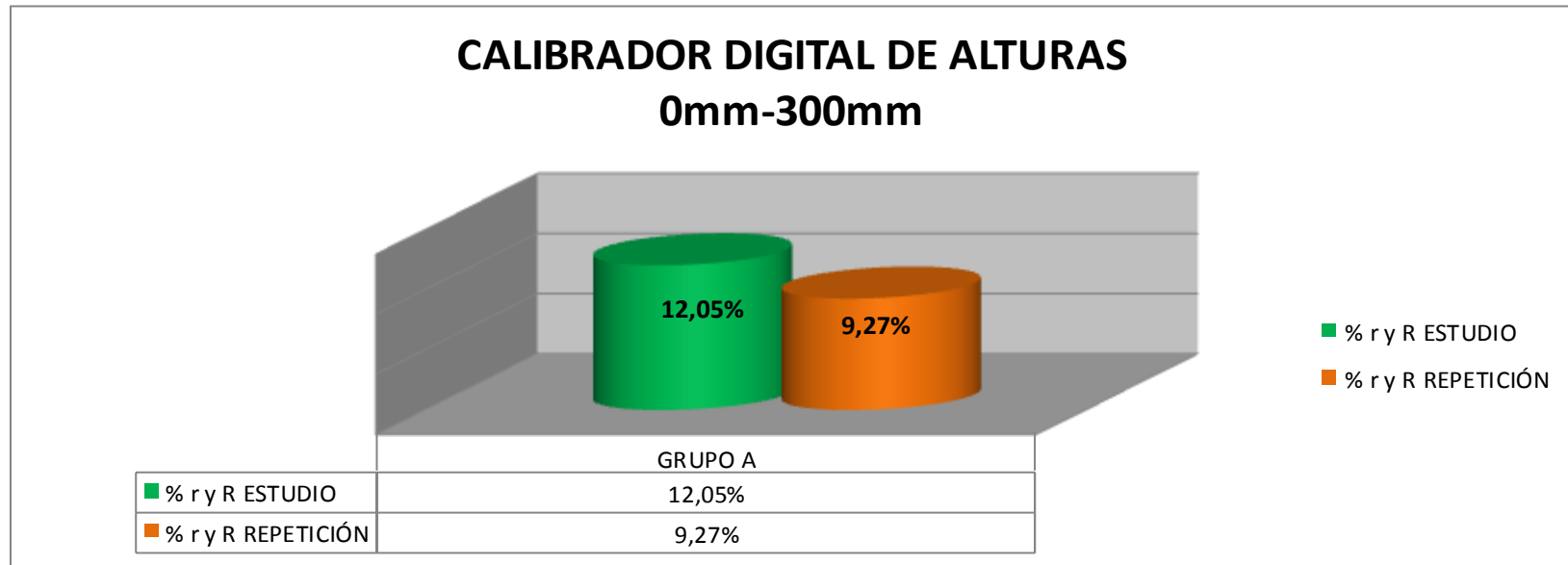
De los tres estudios que se repitieron por haber obtenido resultados aceptables con reservas en calibrador pie de rey digital en interiores, los tres obtuvieron resultados favorables con porcentajes de repetibilidad y reproducibilidad de 7,99%, 8,24% y 7,93% para los respectivos casos, situación que permite garantizar sistemas de medición confiables pues lo estudios se encuentra en el nivel de aceptables.

**Gráfica 26.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades.



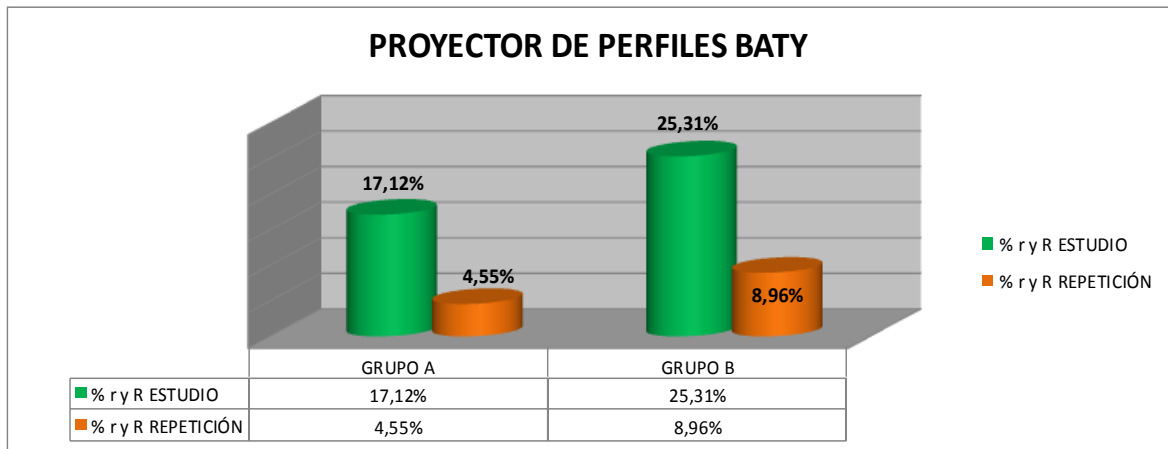
A pesar que los estudios llevados a cabo inicialmente con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades se encontraron ubicados en el rango de % r y R entre el 10% y 30%, nivel de estudios aceptables con reservas en donde el sistema de medición es válido pero puede ser mejorado para llegar a ser excelente, se consideró oportuno capacitar a los operadores y efectuar la posterior repetición de dichos estudios que una vez llevados a cabo, generaron resultados favorables garantizando la presencia de sistemas de medición aceptables, con % r y R de 9,08% , 8,19% y 9,96% para cada caso.

**Gráfica 27.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Calibrador Digital de Alturas.



El estudio que se realizó con Calibrador Digital de Alturas en el proceso de Inspección y Ensayo, inicialmente obtuvo un % r y R de 12,05% que lo ubicó en un nivel aceptable con reservas, por lo que se repitió para finalmente obtener un % r y R de 9,27% que lo posiciona en un nivel aceptable. Aunque dicho porcentaje demuestra la presencia de un sistema de medición válido, se hace necesario prestar posterior atención ya que está muy próximo al rango de aceptable con reservas que hace el sistema de medición menos confiable.

**Gráfica 28.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Inspección y Ensayo con Proyector de Perfiles Baty.



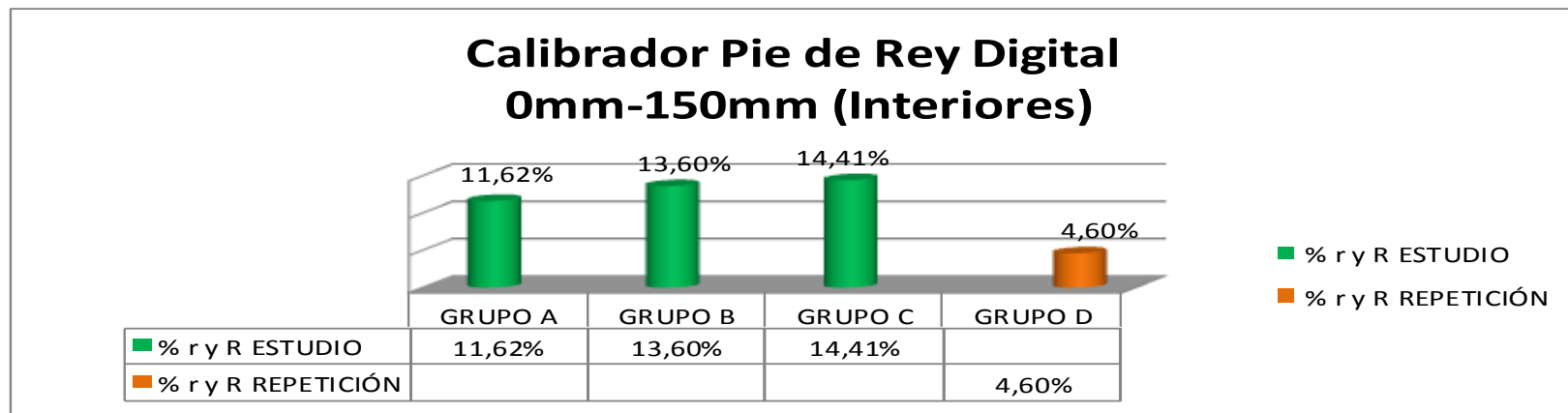
Los estudios iniciales llevados a cabo con este instrumento de medición se hicieron empleando la pieza Soporte del Fulminante de la Espoleta V9 - V19p, con la que se obtuvieron % r y R en cada grupo de 17,12% y 25,31% que muestran niveles de aceptación con reservas para los sistemas de medición. Para llevar a cabo la repetición de dichos estudios se vio la necesidad de cambiar la pieza por la Barra de Manija del Lanzador de Granadas 40mm MGL MK, ya que se detectó poca repetibilidad de los resultados y dificultad por parte de los operadores para llevar a cabo las mediciones en los estudios iniciales.

Una vez repetidos los estudios con la nueva pieza, se pudieron observar mejoras considerables en los sistemas de medición, evidenciadas en el % r y R de cada grupo ya que fueron de 4,55% y de 8,96% para cada caso.

### 7.3.2 Comparación % r y R en el proceso de mecanizados

- ❖ Los integrantes de cada uno de los grupos que se muestran en las gráficas de comparación de % r y R en el proceso de Mecanizados se encuentran identificados en el Anexo R.

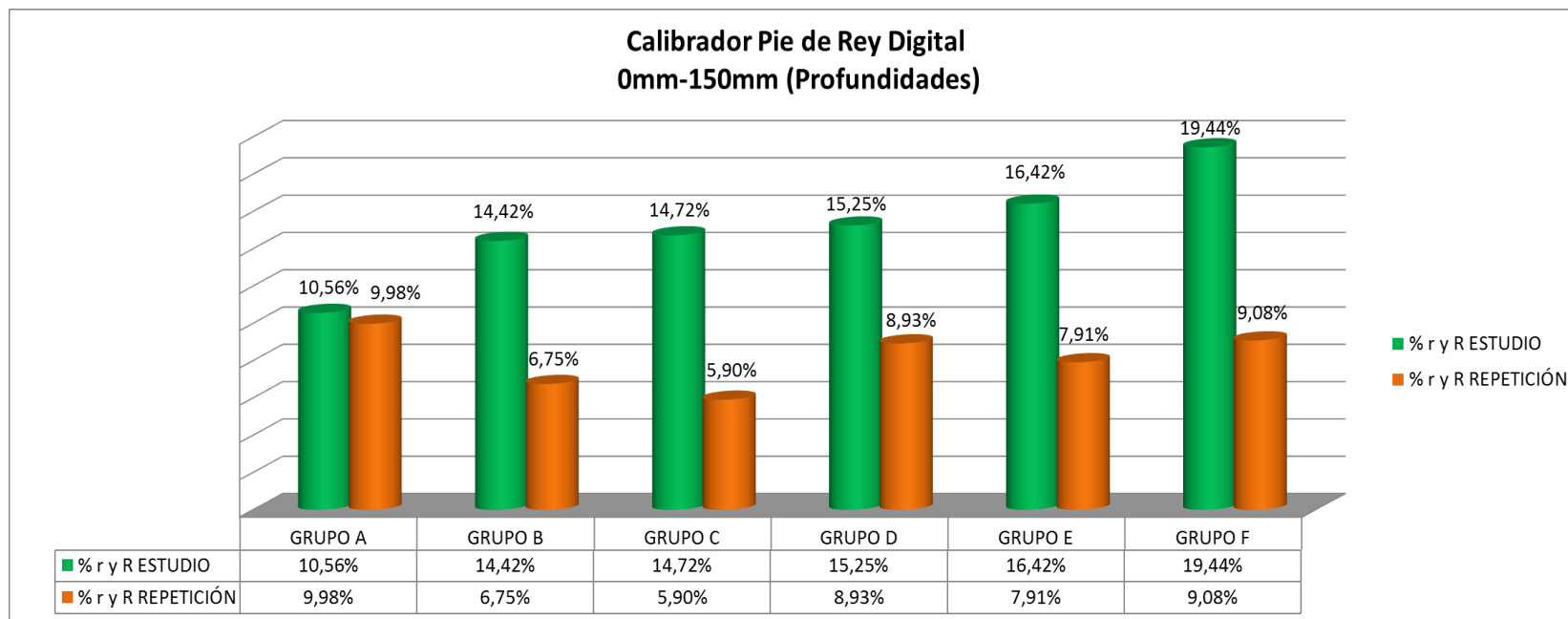
**Gráfica 29.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores.



De los estudios iniciales llevados a cabo en el proceso de Mecanizados con calibrador pie de rey digital en interiores, tres obtuvieron % r y R entre el 10% y el 30%, es decir su sistema de medición resultó aceptable con reservas. Dado que en uno de estos grupos dos de los integrantes se desvincularon de la fábrica y de los otros dos se pudo identificar claramente la persona causante de dicho resultado, se tomó la determinación de agrupar a las tres personas en un nuevo grupo para la repetición del estudio.

Con la repetición se pudo obtener un resultado del % r y R de 4,60% que permite ubicar al sistema de medición como aceptable para el uso del calibrador pie de rey digital en interiores.

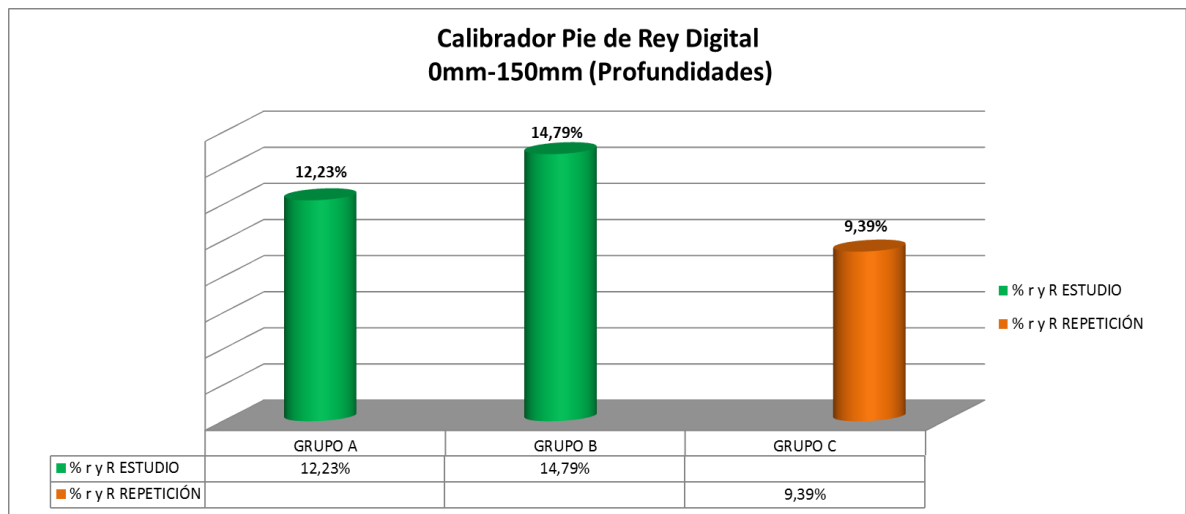
**Gráfica 30.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades.



Tras la capacitación y posterior repetición de seis de los estudios llevados a cabo en el proceso de mecanizados con calibrador pie de rey digital en profundidades, se obtuvieron mejoras en el sistema de medición, reflejadas en los resultados de los % r y R ya que todos estuvieron por debajo del 10% es decir resultaron aceptables.

Sin embargo dos de los estudios obtuvieron % r y R de 9,98% y de 9,08% muy cercanos al rango de estudios aceptables con reservas, por lo que es necesario prestar mayor atención a esta situación. Cabe aclarar que dichas repeticiones se realizaron conservando los mismos grupos de los estudios iniciales.

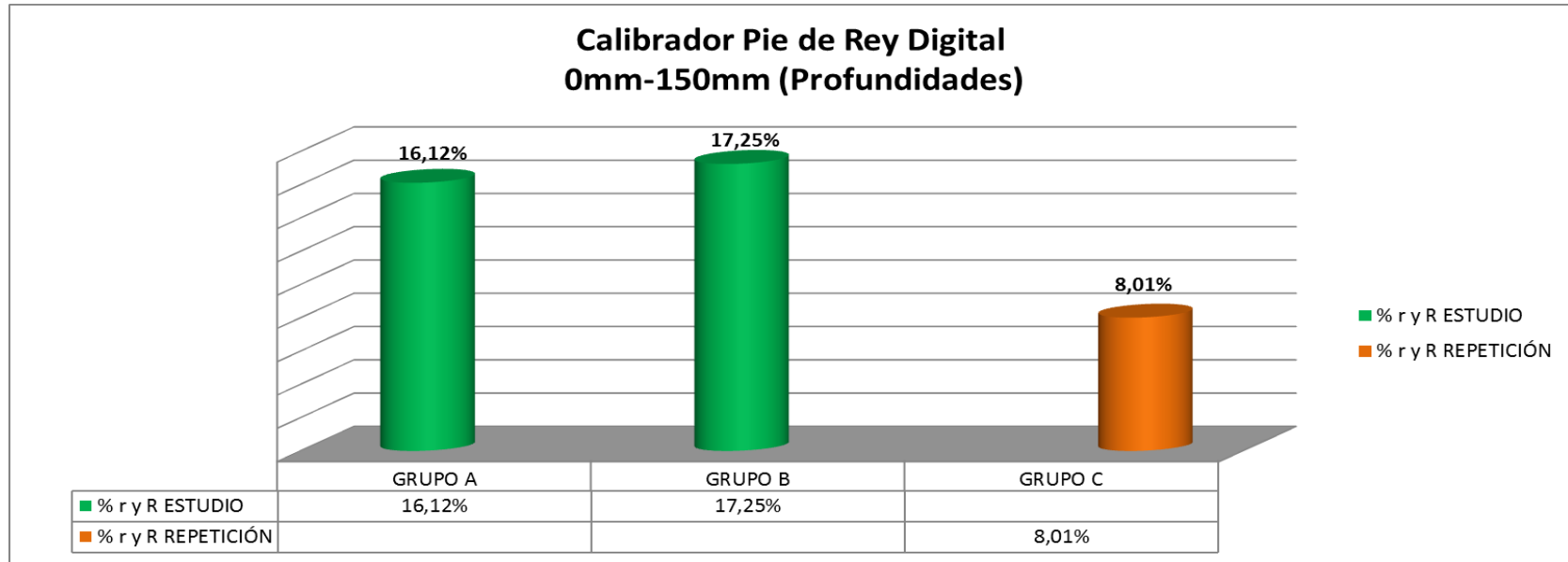
**Gráfica 31.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades.



Debido a los casos particulares que se presentaron en el transcurso del desarrollo de los estudios de r y R, se determinó la conformación de un nuevo grupo para la repetición del estudio con calibrador pie de rey en profundidades, ya que dos de los grupos fueron descompletados por la terminación del contrato laboral de tres operadores.

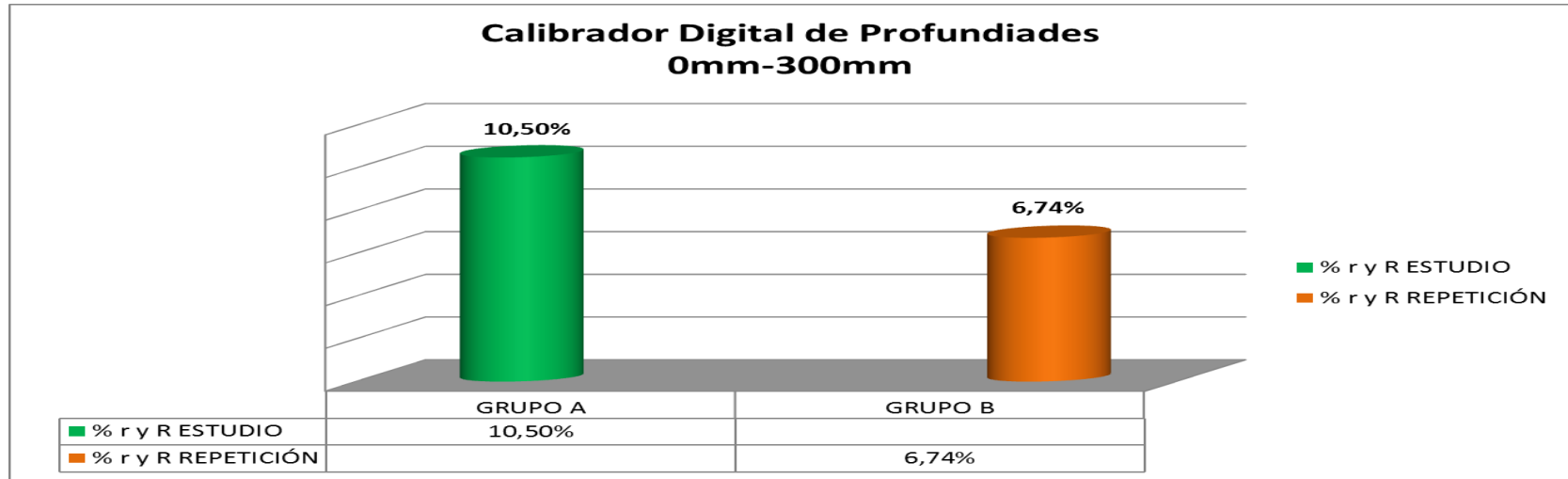
Con el nuevo grupo se obtuvo un valor del % r y R del 9,39% que está ubicado dentro del rango de estudios aceptables, aun así este resultado se encuentra muy cercano al límite inferior de % r y R que catalogan a los sistemas de medición aceptables con reservas es decir sujetos a mejoras.

**Gráfica 32.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades.



Para este caso, por ausencia de uno de los operadores que fue accidentado y la terminación del contrato laboral de dos de los operadores participantes en los estudios, se conformó un nuevo grupo de estudio que permitió la repetición y valoración de los operadores que requerían refuerzo en la medición. El resultado del % r y R que se obtuvo con el nuevo grupo fue de 8,01% lo que ubica al sistema de medición en un nivel aceptable para el uso del calibrador pie de rey digital en profundidades.

**Gráfica 33.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Mecanizados con Calibrador Digital de Profundidades.



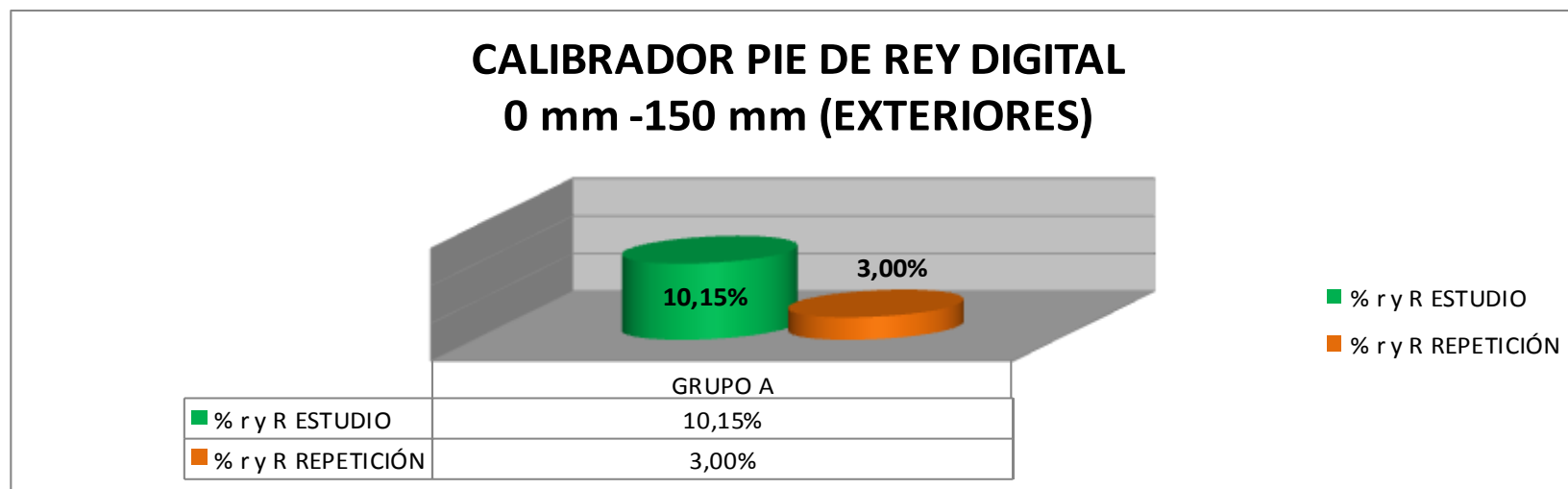
Para el calibrador digital de profundidades solo un estudio resultó aceptable con reservas con un % r y R de 10,50%. En este estudio dos de sus integrantes hacían parte del grupo de trabajadores temporales a los que se les finalizó el contrato laboral, por consiguiente fue necesario para la repetición del estudio, recurrir a dos operadores que en sus estudios iniciales obtuvieron resultados aceptables, con el fin de tomarlos como punto de comparación para la evaluación de los resultados de la repetición del estudio.

Una vez realizada la repetición del estudio se obtuvo un porcentaje de 6,74% que significa un excelente sistema de medición a la hora de emplear el calibrador digital de profundidades.

### 7.3.3 Comparación % r y R en el proceso de microfundición

- ❖ Los integrantes de cada uno de los grupos que se muestran en las gráficas de comparación de % r y R en el proceso de Microfundición se encuentran identificados en el Anexo S.

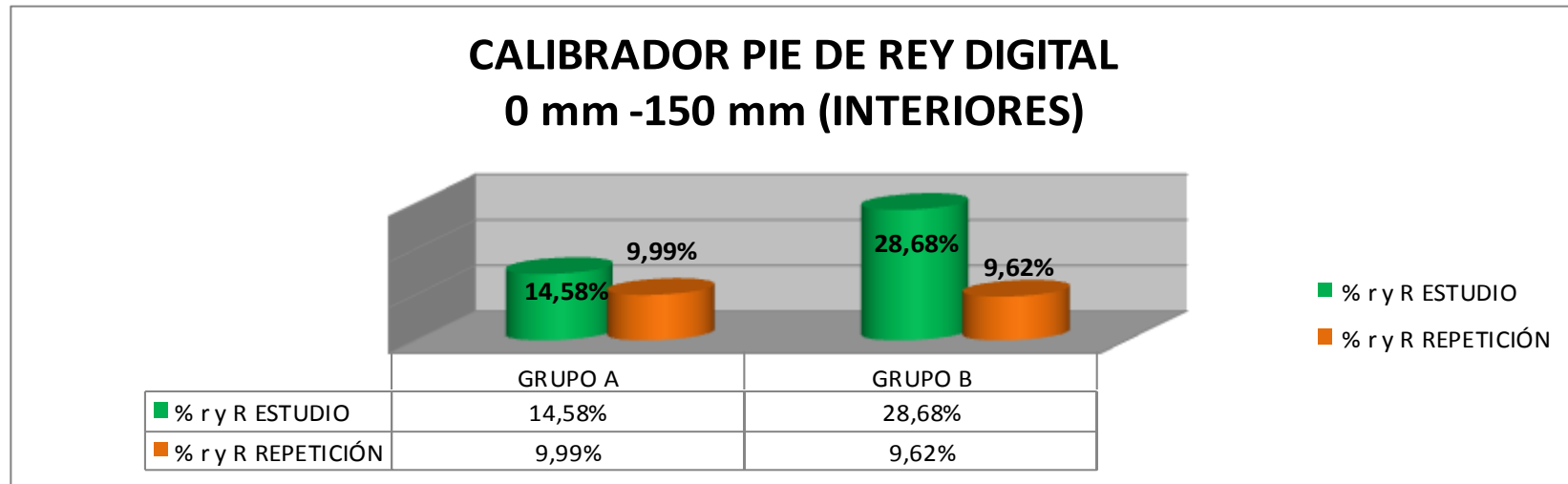
**Gráfica 34.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Microfundición con Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores.



Luego de la capacitación dada a los integrantes del grupo de estudio de Calibrador Pie de Rey Digital en exteriores en el proceso de Microfundición, se vieron notables mejorías a la hora de emplear dicho instrumento, ya que se evidencia una disminución de 7,15% en el resultado del % r y R del estudio inicial en comparación al % r y R de la

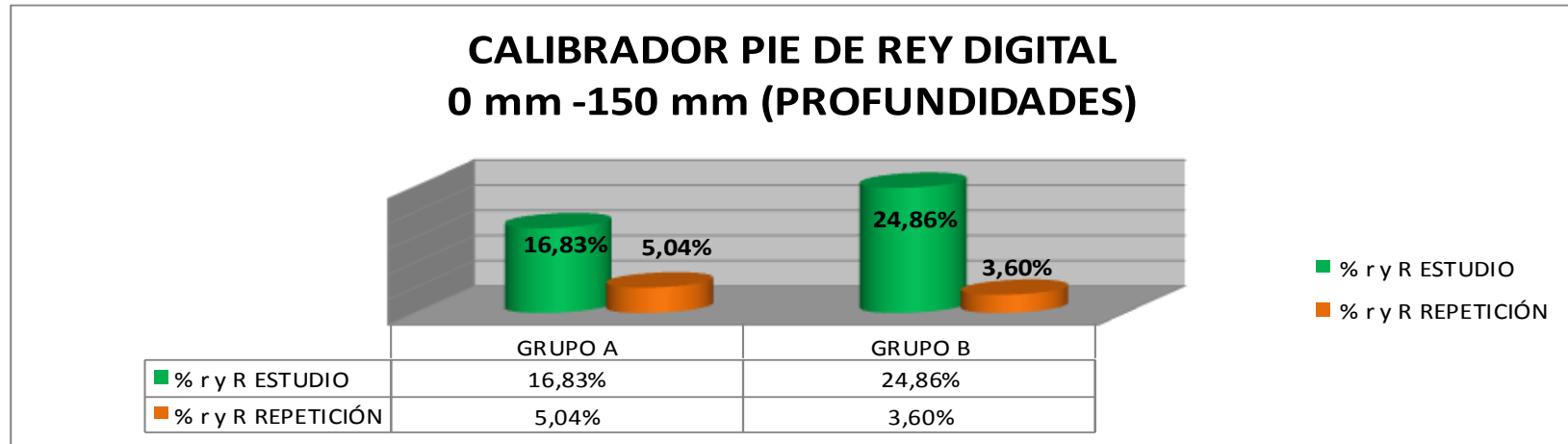
repetición del estudio. Con dicho resultado se puede considerar que el sistema de medición es confiable con dicho instrumento en el grupo evaluado.

**Gráfica 35.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Microfundición con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores.



Una vez evaluadas y corregidas las falencias en cada uno de los operadores a la hora de hacer mediciones con el calibrador pie de rey digital en interiores en el proceso de Microfundición, se evidencia una disminución considerable en el % r y R en ambos grupos, siendo así el sistema de medición aceptable para los dos casos. Sin embargo estos porcentajes se encuentran muy cercanos al rango de estudios aceptables con reservas, situación que puede ser atribuida a la complejidad y falta de homogeneidad de la pieza por ser microfundida y por lo tanto dicha medición requiere de mayor atención.

**Gráfica 36.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Microfundición con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades.

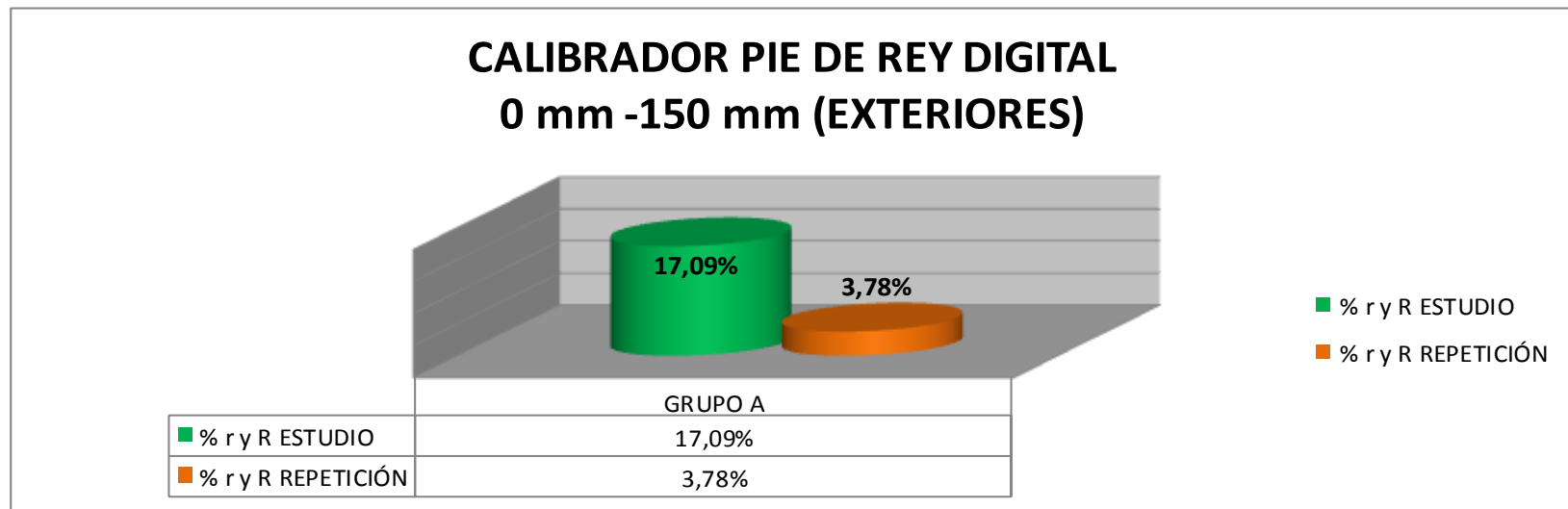


En el estudio inicial llevado a cabo en el proceso de Microfundición con calibrador pie de rey digital en profundidades se detectaron grandes falencias a la hora de utilizar dicho instrumento, situación que se ve reflejada en los % r y R obtenidos inicialmente. Sin embargo una vez realizada la capacitación y efectuada la repetición de dichos estudios se pudo lograr mejoras significativas en el sistema de medición permitiendo ubicar a los estudios realizados en un nivel aceptable con un 5,04% y 3,60% garantizando un método de medición confiable con dicho instrumento.

### 7.3.4 Comparación % r y R en el proceso de troqueles

- ❖ Los integrantes de cada uno de los grupos que se muestran en las gráficas de comparación de % r y R en el proceso de Troqueles se encuentran identificados en el Anexo T.

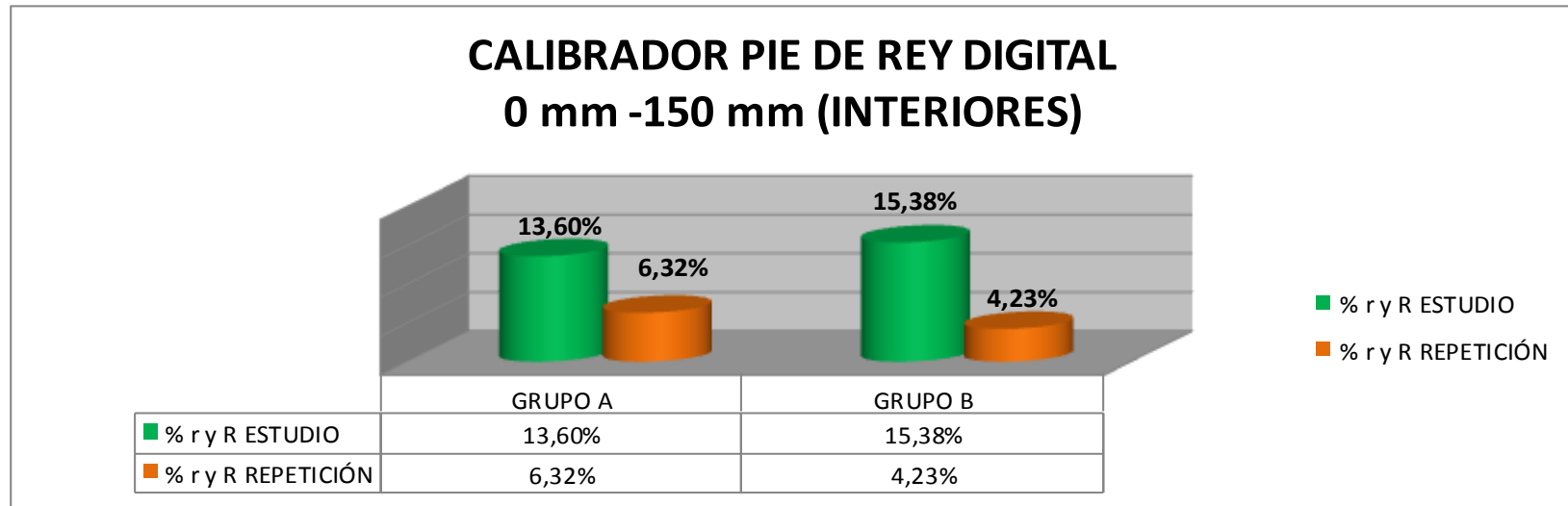
**Gráfica 37.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Pie de Rey Digital en Exteriores.



Al presentarse una disminución del % r y R del estudio inicial de 17,09% a 3,78% correspondiente al % r y R de la repetición del estudio llevado a cabo con calibrador pie de rey digital en exteriores en el proceso de Troqueles, se demuestra que la capacitación desarrollada abarcó los puntos pertinentes y disminuyó las fallas que presentaba

cada operador a la hora de hacer mediciones con dicho instrumento, lo que permitió lograr un sistema de medición aceptable y confiable.

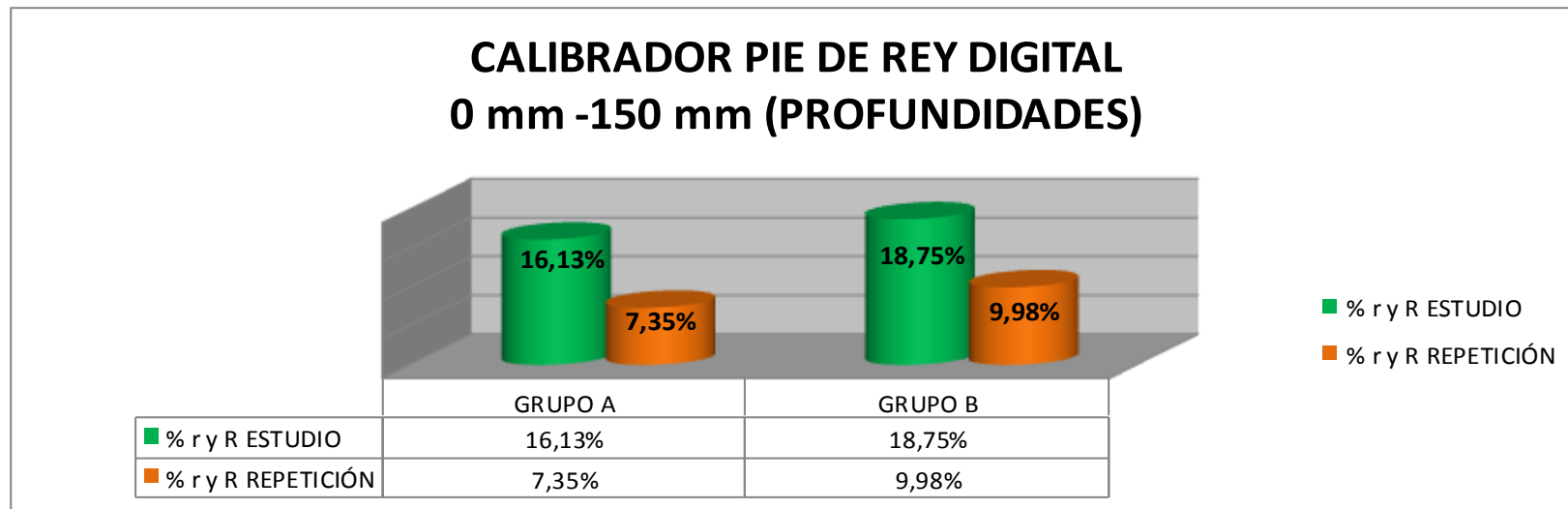
**Gráfica 38.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Pie de Rey Digital en Interiores.



Con el desarrollo de los estudios iniciales en el proceso de Troqueles, empleando el calibrador pie de rey digital en interiores, se pudo detectar que los operadores presentan fallas en la implementación de dicho instrumento por lo que los resultados del % r y R se ubicaron en el nivel de estudios aceptables con reservas siendo estos 13,60% y 15,38%. Sin embargo los resultados obtenidos tras la capacitación mostraron mejoras considerables en el sistema

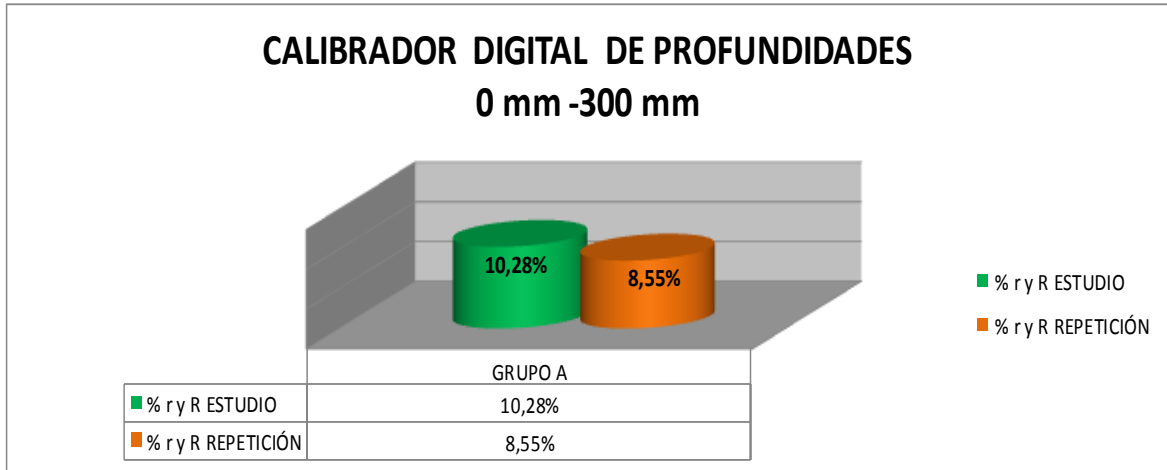
de medición ya que los % r y R se redujeron hasta quedar en un nivel aceptable siendo estos 6,32% y 4,23% respectivamente.

**Gráfica 39.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Pie de Rey Digital en Profundidades.



Dado que los resultados del % r y R para los estudios con calibrador pie de rey digital en profundidades en el proceso de Troqueles, posicionaron el sistema de medición como aceptable con reservas, se vio la necesidad de desarrollar una capacitación que reforzara las falencias que permitieran garantizar la presencia de un método de medición aceptable, aspecto que se logró para los dos grupos de estudios, ya que se presentó una reducción del % r y R de 16,13% a 7,35% para uno de los grupos y para el otro de 18,75% y 9,98%.

**Gráfica 40.** % r y R Estudio Inicial Vs. % r y R Repetición de Estudio en el proceso de Troqueles con Calibrador Digital de Profundidades.



Con la repetición del estudio llevado a cabo en el proceso de Troqueles con el Calibrador de profundidades se logró un resultado del % r y R de 8,55% el cual se encuentra en el intervalo de estudios aceptables, lo que indica que las observaciones y recomendaciones propuestas en la capacitación fueron atendidas oportunamente por los operadores logrando así un sistema de medición confiable para el uso de dicho instrumento.

De los 114 estudios de r y R llevados a cabo en los procesos de Inspección y Ensayo, Mecanizados, Microfundición y Troqueles, treinta y seis (36) estudios fueron repetidos, ya que treinta y cinco (35) de estos resultaron inicialmente aceptables con reservas con un % r y R entre el 10% y el 30% y uno (1) no aceptable con un % r y R superior al 30%. Dichas repeticiones permitieron obtener en el 100% de estos estudios repetidos, resultados confiables y aceptables con un % r y R inferior al 10%.

## 8 OBSERVACIONES

- ✓ Las debilidades que presentaron algunos de los operadores a la hora de medir las diferentes piezas en los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, reflejan que la organización no cuenta con planes de formación y capacitación claramente establecidos que faciliten al operador la adquisición de conocimientos en temas referentes al uso adecuado de los instrumentos de medición que hacen parte de los procesos productivos.
- ✓ A la hora de efectuar las mediciones en los estudios de  $r$  y  $R$  en los diferentes procesos, se observó que algunos operadores no cuentan con la suficiente confianza y seguridad que requiere dicha labor, pues a pesar de realizar varias mediciones y obtener resultados repetitivos, no tenían la convicción de estar arrojando el resultado correcto.
- ✓ El numeral 5,9 de la norma internacional ISO/IEC 17025, “Requisitos generales para la competencia de los laboratorios de ensayo y de calibración”, exige asegurar la calidad de los resultados haciendo uso de determinadas herramientas como lo son los estudios de repetibilidad y reproducibilidad, herramienta que se ha venido implementando en los laboratorios de calibración y química de la industria militar desde el año 2012. Sin embargo en los diferentes procesos con los que cuenta la Industria Militar Fasab, dicha herramienta no ha sido implementada periódicamente para garantizar resultados confiables, ya que desde el año 2005 no se lleva a cabo ningún estudio de repetibilidad y reproducibilidad.
- ✓ A pesar de que el Laboratorio de Calibración de la Industria Militar cuenta con un programa de calibración y verificación de instrumentos de medición claramente establecido y al que se le está dando cumplimiento en las fechas fijadas, pueden presentarse fallas en el funcionamiento de los instrumentos

debido a golpes y al mal uso que estos reciben por parte del operario. Esta situación es preocupante por el hecho de que algunos operarios no informan oportunamente a los técnicos del laboratorio estas novedades, para que tomen las medidas necesarias y no son conscientes de las consecuencias que acarrearán el usar estos instrumentos en mal estado.

## 9 CONCLUSIONES

- ✓ Con la realización de los estudios r y R se identificaron fallas en los sistemas de medición que ubicaron al 0,88% de los estudios en un nivel no aceptable y a un 30,70% en un nivel aceptable con reservas, es decir sujetos a mejoras, lo que hizo necesario la capacitación de algunos operadores en el uso adecuado de determinados instrumentos de medición, actividad que finalmente permitió la obtención de resultados confiables y aceptables en el 100% de los estudios repetidos.
- ✓ De los estudios que se llevaron a cabo para validar el sistema de medición en los procesos de mecanizados, microfundición, troqueles e inspección y ensayo, se observa que el 68,42% del total, obtuvieron excelentes resultados, lo que indica que los sistemas de medición en dichos procesos son aceptables en la gran mayoría de los casos.
- ✓ En el proceso de microfundición se detectó que el sistema de medición en general con calibrador pie de rey digital es deficiente ya que de seis (6) estudios realizados solo uno (1) resulto aceptable, lo que indica que el 83,33% de estudios se debió repetir (Anexo U), por lo que se hizo necesario capacitar a los operadores en el uso de dicho instrumento, ya que muchos de ellos ingresan a la planta a realizar mediciones sin recibir una previa capacitación en el uso de éste, que es el instrumento que presenta mayor frecuencia de uso con un porcentaje del 42,86% como se ve en el Anexo V.
- ✓ Siendo el calibrador pie de rey digital el instrumento que presenta mayor frecuencia de uso con un porcentaje del 19,32% para la medición de piezas del proceso (Anexo W) y del que se espera con su uso mediciones confiables, fue el instrumento que una vez realizados los estudios de repetibilidad y reproducibilidad arrojó mayor variación a la hora de ser empleado por los operadores de los diferentes procesos, en especial al ser usado para medir

cotas con el área de medición de profundidades, ya que de los veinte (20) estudios realizados con dicho instrumento en esta área de medición, el 85% representó el porcentaje de estudios a repetir, ver Anexo X.

## 10 RECOMENDACIONES

- ✓ La Industria Militar entre su programa de gestión integral debe estructurar un plan de formación que este enfocado en orientar a los operarios de los procesos en los que intervengan instrumentos de medición, el método adecuado para el uso de estos, teniendo en cuenta la capacidad de medición de dichos instrumentos y la funcionalidad de las piezas, aspectos que permiten la selección del instrumento apropiado para efectuar mediciones reales y confiables. Se recomienda que dicha formación tenga un enfoque práctico y esté a cargo de personal especializado y capacitado, ya sea externo a la organización o que haga parte de ella como lo son los técnicos del laboratorio de calibración.
- ✓ Ya culminados los estudios de repetibilidad y reproducibilidad que se desarrollaron en el año 2013, se recomienda dar seguimiento a los sistemas de medición de cada uno de los procesos que se vieron involucrados en estos, teniendo como referente los resultados obtenidos. De igual forma se recomienda realizar este tipo de estudios en otros procesos y tipos de instrumentos de medición que se identificaron en el diagnóstico con calificación media y baja y que no fueron abarcados para este año.
- ✓ Para el análisis de los resultados de los estudios de repetibilidad y reproducibilidad Indumil cuenta con una Plantilla de Análisis de Varianza (Anova) que esta validada por la Organización Nacional de Acreditación (ONAC), herramienta que fue usada en los estudios que se llevaron a cabo en el año 2013. Además de dicha plantilla, en este año se elaboraron en Excel unas graficas de rango (R) y promedio (X barra) que apoyaron el análisis de los resultados obtenidos y que se recomiendan ser usadas para la evaluación de próximos estudios.

- ✓ Vistos los resultados obtenidos en los estudios  $r$  y  $R$  iniciales que se llevaron a cabo en el proceso de microfundición, es recomendable que la Industria Militar capacite al personal que realiza mediciones y que labora en este proceso, ya que algunos operadores carecen de conocimiento en el uso adecuado de los instrumentos de medición y se han visto en la necesidad de adquirirlo empíricamente, lo que hace que se presente mayor variación en los resultados de las mediciones.
  
- ✓ Se recomienda establecer programas de capacitación en el uso adecuado del instrumento de medición Calibrador Pie de Rey Digital para los procesos involucrados en los estudios de  $r$  y  $R$  ya que este instrumento es el que se usa con mayor frecuencia y por lo tanto debe generar menor variación a la hora de ser empleado.

## BIBLIOGRAFÍA

AES STANDARDS- QUALITY PRODUCTS. Sistema de Análisis de Medida, MSA. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <<http://quality.aes-standards.com/msa-es.html>>

ANÁLISIS DE SISTEMAS de Medición. Control Estadístico de la Calidad con MINITAB. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <[http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC\\_2.pdf](http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/SPC_2.pdf)>

BLANCO GUERRERO, Edgar Eliecer. Cartas R y S con Límites de Control Estimados. Bogotá : Universidad Nacional de Colombia Facultad de Ciencias (Departamento de Estadística), 2012. 75p.

BOTERO ARBELÁEZ, Marcela; ARBELÁEZ SALAZAR, Osiel y MENDOZA VARGAS, Jairo A. Método Anova utilizado para realizar el estudio de Repetibilidad y reproducibilidad dentro del control de calidad de un sistema de medición. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira ,2007.pag 533-537.

CENTRO ESPAÑOL DE METROLOGÍA. Vocabulario Internacional de Metrología Conceptos fundamentales y generales, y términos asociados. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en < <http://www.cem.es/sites/default/files/vim-cem-2012web.pdf>

CHAVEZ MORALES, Martin., et al. Notas de la Materia : Instrumentación y Metrología. Sonora: Universidad De Sonora División De Ingeniería (Departamento De Ingeniería Industrial), 2007. 86p.

COLOMBIA. MINISTERIO DE PROTECCION SOCIAL. Guía Pedagógica Para La Gestión Del Cambio Organizacional : Matrices de priorización, 2006. [consultado

05 agosto 2013]. Disponible en  
<<http://mps1.minproteccion-social.gov.co/evtmedica/linea%203.1/2.4matrices.html>>

DAUGHERTY, Ray., et al. Manual de referencia - Measurement Systems Analysis : MSA. Michigan : Grupo de Acción Industria Automotriz, 1995. 142p.

FASAB. INFORME PORMENORIZADO DEL ESTADO DEL CONTROL INTERNO : Mapa de Procesos. [Base de datos Indumil Fasab], Colombia: s.n., 2012.

INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Consolidado RNC 24 de Junio de 2013. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2013.

INDUMIL COLOMBIA. Definiciones. En: Instructivo para la calibración de micrómetros de exteriores. Colombia : Indumil Colombia,2012. p. 2-3.

INDUMIL FASAB, Manual de Gestión Integral IM OC OFP MN 001 : Descripción General de la Industria Militar. [Base de datos Indumil Fasab], Colombia: s.n., 2012.

INDUMIL FASAB. Organigrama Fasab IM OC OFP IF 004 REV 07. [Base de datos Indumil Fasab], Colombia: s.n., 2010.

INDUMIL FASAB, Grupo Control Calidad. Instructivo para la calibración de calibradores pie de rey. [Base de datos Indumil Grupo Control Calidad Fasab], Colombia: s.n., 2012.

LLAMOSAS R, Luis Enrique; CONTRERAS MEZA, Luis G y ARBELAEZ BOTERO, Marcela. Estudio de Repetibilidad y reproducibilidad utilizando el método de promedios y rangos para el aseguramiento de la calidad de los resultados de calibración de acuerdo con la norma técnica NTCISO/ IEC 17025. Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira ,2007. p. 455 -460.

METAS & METRÓLOGOS ASOCIADOS. Aplicación Metrológica de los Estudios r&R (Repetibilidad y Reproducibilidad). México: La Guía Metas, 2003.

ZUÑIGA MOLINA, Dorelia. Estudios R y R. En : \_\_\_\_\_ . Aplicación de los estudios R&R a la línea 1mm Std Edge de la empresa AMP AMERMEX. México: Tesis Digitales, 2009. p 1-12. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <<http://tesis.uson.mx/digital/tesis/docs/9130/Capitulo1.pdf>>

MEXICO. GOBIERNO FEDERAL SFP. Programa especial de mejora de la Gestión en la Administración Pública Federal 2008-2012, Vivir mejor. Estados Unidos Mexicanos: Matriz de Correlación, 2008. [consultado 1 agosto 2013]. Disponible en <[http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/work/sites/SFP/resources/LocalContent/1581/7/matriz de correlacion.pdf](http://portal.funcionpublica.gob.mx:8080/wb3/work/sites/SFP/resources/LocalContent/1581/7/matriz_de_correlacion.pdf)>

MEXICO. BIBLIOTECA DIGITAL UNIVERSIDAD DE SONORA. Bases de datos de tesis. [base de datos en línea]. [consultado 14 junio 2013]. Disponible en <[http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg\\_tesisIndice.aspx?tesis=9130](http://www.bibliotecadigital.uson.mx/bdg_tesisIndice.aspx?tesis=9130)>

MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. Instrumentos para metrología dimensional: Utilización, mantenimiento y Cuidados. Brasil : Mitutoyo Sul Americana Ltda., 1995. 66p.

MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. Principales Fuentes de Error en la Medición. En : Instrumentos para metrología dimensional: Utilización, mantenimiento y Cuidados. Brasil : Mitutoyo Sul Americana Ltda., 1995. p. 5-7.

MITUTOYO SUL AMERICANA LTDA. Conceptos Fundamentales /Terminología. En : Instrumentos para metrología dimensional: Utilización, mantenimiento y Cuidados. Brasil : Mitutoyo Sul Americana Ltda., 1995. p. 1-2.

MOSQUERA SARAVIA, Cristián Rodrigo. Comparación entre los métodos de evaluación de incertidumbre y estudios de Repetibilidad y reproducibilidad para la evaluación de las mediciones. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala Facultad de Ingeniería Escuela de Postgrado (Maestría en Gestión Industrial), 2007. 163p.

PAISAN, Yoel Portuondo y MORET Juan Portuondo. La Repetibilidad y Reproducibilidad en el Aseguramiento de la Calidad de los procesos de medición. En: Tecnología Química. Camagüey: Universidad de Oriente Facultad de Ingeniería Mecánica , 2010. Vol. XXX, núm. 2. p. 117-121.

QUAGLINO, Marta., et al. Estudio de sistemas de medida con ensayos destructivos. Una aplicación sobre tiempos de producción. Argentina: Universidad Nacional de Rosario Facultad de Ciencias Económicas y Estadística, 2010. p. 59-72.

REYES, Víctor. Análisis de Sistemas de Medición – MSA. ASQ Ambos Nogales. [consultado 2 mayo 2013]. Disponible en <http://www.asqnogales.org/Presentaciones/MSA.pdf>

RUIZ, Arturo y ROJAS, Falcó. Control estadístico de procesos: Apuntes de clase. Madrid: Universidad Pontificia Comillas, 2006. 74p.

RUIZ CARREÑO, Juan Carlos y MONTAÑEZ GÓMEZ, Robinson. Validación de la Repetibilidad y la Reproducibilidad del ensayo bajo carga monotónica en mezclas Asfálticas. Bucaramanga : Universidad Industrial de Santander Facultad de Ciencias Físico-Mecánicas Escuela de Ingeniería Civil, 2011. 140p.