

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA  
PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA  
FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**

**Nº DE RADICACIÓN:** \_\_\_\_\_

**INFORMACIÓN EJECUTORES**

**Ejecutor 1**

Nombre (s):	FABIAN ANDRES
Apellido (s):	NIÑO GORDILLO
Código:	20142375036
E-mail:	<a href="mailto:fabianandresng@gmail.com">fabianandresng@gmail.com</a>
Teléfono fijo:	7783732
Celular:	3112564270



**Ejecutor 2**

Nombre (s):	LIZETH
Apellido (s):	SANTANDER MORENO
Código:	20142375030
E-mail:	<a href="mailto:Lizeth_12sm@yahoo.es">Lizeth_12sm@yahoo.es</a>
Teléfono fijo:	5750691
Celular:	3107760933



**INFORMACIÓN DEL PROYECTO**

Título del Proyecto:	Desarrollo de una metodología para la asignación de tolerancias en ensamblajes mecánicos para un proceso de ingeniería inversa	
Duración (estimada):	6 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de procesos industriales	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:	DISING	
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño mecánico	

**INFORMACIÓN PASANTÍA**

Nombre de la empresa:	
Dirección:	
Teléfonos:	
Correo electrónico:	
Página Web:	

**INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA**

Director: (Vo. Bo.)	
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	

# Contenido

1	INTRODUCCION.....	3
2	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	4
3	ESTADO DEL ARTE .....	5
4	JUSTIFICACION.....	9
5	OBJETIVOS .....	10
6	MARCO TEÓRICO .....	11
7	METODOLOGÍA.....	14
8	CRONOGRAMA .....	15
9	PRESUPUESTO.....	16
10	BIBLIOGRAFÍA.....	17

# 1 INTRODUCCION

Al realizar el proceso de ingeniería inversa con elementos mecánicos se dejan de lado aspectos significativos relacionados con la construcción de las piezas; parámetros que influyen directamente en el funcionamiento del mecanismo y hacen que se presenten fallos a largo de la vida útil de las reconstrucciones, llevando a realizar reprocesos.

Esto aumenta más el tiempo de fabricación de las piezas de reposición de los artefactos, lo que se ve reflejado en el costo que tienen que asumir para re manufacturar elementos no normalizados; delegando en gran cantidad de veces estas operaciones a personal con muchos años de experiencia que realizan este proceso de manera netamente intuitiva lo que conlleva a realizar los ajustes mediante el uso de prueba y error.

El uso de tecnología ha permitido replicar las formas más complejas en un lapso de tiempo muy reducido, dando paso al concepto de ingeniería inversa; sin embargo no se realiza una evaluación profunda de los datos obtenidos para que se pueda determinar los cambios que ha sufrido un elemento a largo de su vida útil; por lo que recae sobre las piezas nuevas fallas asociadas a desgastes propios del funcionamiento; de modo que se debe plantear una metodología que determine un numero de variables asociadas al elemento de estudio y su relación con el conjunto, para garantizar el funcionamiento de todo el ensamble.

Para este fin se desarrolla una revisión de las investigaciones de la última década asociadas a este tema alrededor del mundo, para determinar el uso de la ingeniería inversa en el diseño mecánico y el enfoque del uso de tolerancias en procesos reconstructivos como en la producción en serie, para que de esta manera se construya un prototipo que garantice la funcionalidad y características dimensionales que la pieza inicial poseía.

## 2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Pese a que hoy en día gran cantidad de elementos que hacen parte de los ensambles mecánicos de las maquinas son normalizados, existen piezas con geometría específica para ejecutar una función, que se ve sometida a desgaste y posible fractura a lo largo de su vida útil; al momento de realizar su reconstrucción la labor de ajuste y tolerancias recae en personal con mucho tiempo de experiencia<sup>1</sup> que en la mayoría de los casos realizan esto mediante prueba y error, en el mejor de los casos se apoyan en el uso de tecnologías de última generación pero sin evidenciar un análisis profundo de las relaciones que contiene la pieza respecto al conjunto, sin evidenciar un desarrollo procedimental de modo genérico, que pueda ser aplicado a cualquier entorno que requiera realizar una re manufactura.

Los procedimientos de ingeniería inversa, actualmente se utilizan solamente en el campo de los procesos de calidad en piezas en serie y en la visualización de piezas para procedimientos civiles y arquitectónicos. Pero en el caso de piezas no normalizadas no se maneja esta herramienta debido a que no se ha conformado un proceso para reconstruir una pieza y se limitan a la remanufacturación por experticia y experiencia del personal técnico.

De acuerdo con esto no existe una metodología adecuada para el procesamiento de los datos obtenidos y como consecuencia se presentan fallos a lo largo del proceso, que conllevan a aumento del costo ya que implica mayor tiempo de elaboración, uso de más recursos debido a posibles fallas relacionadas con reproceso o ajustes en sitio o en el peor de los casos la elaboración total de la pieza. Todo esto debido a que no se han identificado los principales aspectos que deben ser cubiertos para establecer relaciones, geométricas y paramétricas de la pieza que se desea reelaborar dentro de un conjunto, afectando directamente el costo asociado ya que puede verse comprometida la funcionalidad de un equipo y por lo tanto la vida útil del mismo.

De modo que se pretende elaborar una metodología que delimite una ruta al momento de realizar un proceso de ingeniería inversa en los casos de cambio de piezas, que hayan sufrido algún tipo de deterioro que no permita el funcionamiento óptimo de un ensamble mecánico, para que la asignación de tolerancias, tenga en cuenta parámetros que permitan reducir los errores y directamente los costos asociados a reproceso y tiempos de fabricación, garantizando la funcionalidad de un conjunto de piezas.

Apoyados en el uso de un modelo que funcione como prototipo de prueba, para simular el proceso real, pero sin contar con factores de desgaste; haciendo de este un proceso de evaluación en un entorno teórico, con el fin de verificar la viabilidad del desarrollo que se plantea proponer

---

<sup>1</sup>KAIRSALIS George J, A Systematic Approach for Geometrical and Dimensional Tolerancing in Reverse Engineering, Reverse Engineering - Recent Advances and Applications, InTech 2012, pg 134 recuperado de: <http://www.intechopen.com/books/reverse-engineering-recent-advances-and-applications/a-systematic-approach-for-geometrical-and-dimensional-tolerancing-in-reverse-engineering> el 30 de mayo de 2016

### 3 ESTADO DEL ARTE

La ingeniería inversa en el campo del diseño mecánico, ha mejorado el proceso de adquisición de datos con el fin de someter a análisis la geometría de diferentes objetos y verificar su comportamiento en ciertas condiciones de trabajo, mediante el uso de simulaciones; como es el caso elementos con forma compleja, un ejemplo de ello es el rodete de una bomba cuya geometría debe ser escaneada para obtener toda la cantidad de datos relacionados con su construcción<sup>2</sup>, para luego ser convertido a archivo CAD y el modelo ser sometido a diversos análisis relacionados directamente con su funcionamiento; sin embargo en casos como estos no se evidencia una profundización en la asignación de las tolerancias, de hecho algunos puntos, menciona el autor que son verificados mediante el uso de calibrador pero no se realiza un post procesamiento para determinar errores en el ensamble que puedan comprometer el funcionamiento del mecanismo; La prioridad radica directamente en el total del conjunto y su trabajo en diversas condiciones obviando aspectos significativos de la interacción de los componentes.

Por otro lado la asignación de tolerancias ha tenido gran impacto en el campo de la inspección, donde se ha desarrollado para verificar desviaciones en procesos de manufactura, donde los costos debido a re manufactura son alrededor de 30 – 40% de lo que equivale producir piezas nuevas según Mukherjee and Mondal, 2009<sup>3</sup>; pero que se constituye en un proceso totalmente necesario debido a las necesidades de ampliar la vida útil de los elementos producidos, para la reducción del impacto ambiental de las industrias, así como es totalmente necesario debido al cumplimiento de necesidades de los clientes en el momento de efectuar garantías asociadas a las compras.

Esto tiene gran impacto en la planeación de la producción, ya que constituye un gasto adicional de tiempo y recursos que hacen que sea un porcentaje tan elevado del valor de la producción; motivo por el que se han buscado alternativas que solucionen el problema de realizar inspecciones con un nivel de profundidad sumamente detallado y en el caso de ensambles mecánicos que verifiquen que se cumpla el requerimiento de diseño.

Por lo que se han implementado controles más rigurosos en los procesos de producción; evidenciando mejoras significativas en cada etapa crítica, dando paso a desarrollar herramientas computarizadas especializadas para este campo, como es el caso del CAT&I (computer aided tolerancing and

---

<sup>2</sup> Meiqing Liu, Yaohua Bai, Qiuwei Li, Zhiyong Liu, Qi Lin. Three-dimensional Reverse Engineering Modeling and Numerical Simulation of Pump Based on Laser Scanning Technology\*. E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010

<sup>3</sup>Jiang, Z., et al., Reliability and cost optimization for remanufacturing process planning, Journal of Cleaner Production (2016), recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.037> el día 30 de abril de 2016.

inspection); cuyo uso es altamente efectivo en industrias como la aeronáutica<sup>4</sup>, en la que el control de calidad de las piezas es de suma importancia debido al equipo donde serán montadas; aquí se genera un espacio de verificación, con tecnología como máquinas de medición por coordenadas (CMM) y escáneres laser, para digitalizar los puntos críticos que luego se someten a verificación, para determinar si se encuentran dentro de los parámetros establecidos con el fin de garantizar el funcionamiento óptimo de la pieza y a su vez comprobar las desviaciones que presenta respecto al modelo CAD original.

Esto ha dado paso al desarrollo de software especializado o para la inspección de tolerancias en procesos productivos<sup>5</sup>; donde se tienen en cuenta parámetros como la distribución de las tolerancias y la determinación de una cadena de unión entre estas, para determinar relaciones y limitar los valores entre máximos y mínimos posibles para el óptimo funcionamiento de la pieza dentro de un conjunto, apoyados en el uso de un modelo estadístico; con el que se busca generar histogramas que presenten los valores obtenidos en el proceso de elaboración de las piezas y con ello realizar cambios en el momento preciso de parámetros de máquinas, así como herramientas, para generar la menor variabilidad posible en la producción. Alimentando además aplicaciones que evalúan el costo asociado a las tolerancias dentro del costo total de la producción.

Al momento de determinar la mejor tolerancia se utilizan métodos tradicionales, es decir; variación de tolerancias para el peor de los casos y mediante variaciones estadísticas y en algunos casos se apoyan en el uso del método de Montecarlo<sup>6</sup>. El primero de estos métodos busca determinar a partir de un modelo de estimación de incertidumbres los valores que garantizan la tolerancia del ensamble; por otro lado la variación estadística provee un modelo que determina las zonas de tolerancia y su cadena de dimensionamiento y finalmente el método de Montecarlo que debe ser simulado para la obtención de resultados buscando la probabilidad de que se presente algún fallo.

Sin embargo se han desarrollado nuevas alternativas para la interpretación de los datos; como determinar las zonas de tolerancias apoyándose en un modelo geométrico que no requiere simulación a partir del uso de del mínimo grado de libertad apoyados en el uso de herramientas estadísticas como lo es RSS (raíz de la suma de cuadrados); para resumir las principales técnicas al momento de realizar análisis de tolerancias las presentamos el siguiente esquema, donde se ilustran los métodos usados para los casos de tolerancias en donde se realiza un encadenamiento de las dimensiones.

---

<sup>4</sup> M. Bici, F. Campana, A. Trifirò. C. Testani. Development of automatic tolerance inspection through reverse engineering. Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace), 2014 IEEE

<sup>5</sup> Changhong Guo, Bingli Zhao, Bifu Hu, Ping Xi. The research and realization on computer-aided aircraft tolerance desing based on UG. Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on

<sup>6</sup> Songgang Xu, John Keyser. Statistical geometric computation on tolerances for dimensioning. Computer-Aided Design 2016.

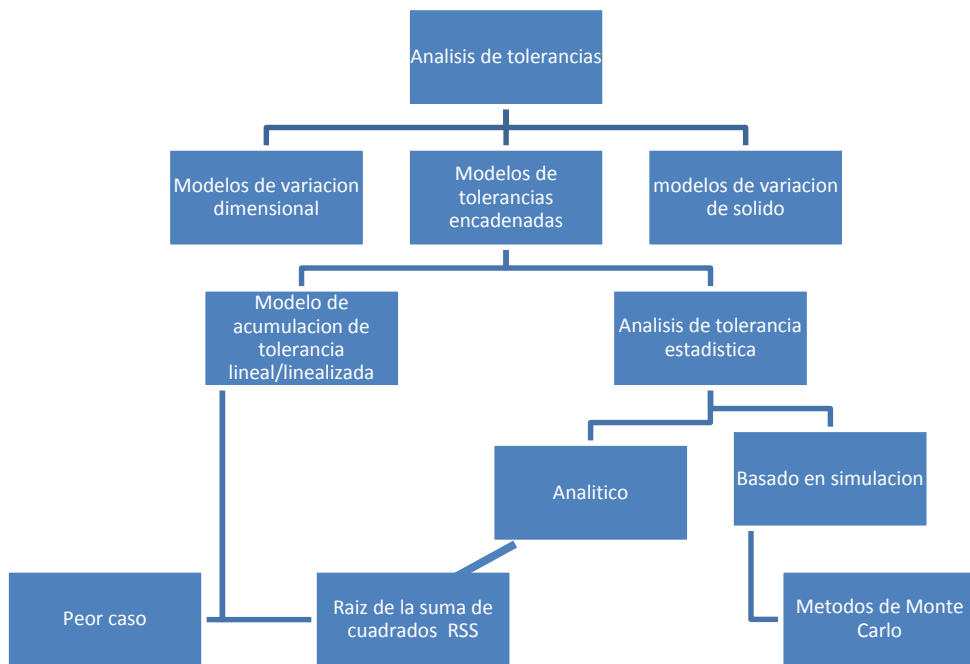


Fig. 1. Principales modelos de análisis de tolerancias<sup>7</sup>

Donde cada caso es usado para dar solución al problema de identifica la mejor forma de asignar y evaluar las tolerancias, y cada uno de estos métodos se ha desarrollado y hacen parte de la configuración de los modelos que se encuentran disponible comercialmente para realizar inspección; asimismo se desempeñan como elementos teóricos planteados para el uso en casos específicos de procesos particulares como es caso nuestro.

Todo esto configura la metodología del procesamiento de datos, es decir lo relacionado directamente con las medidas obtenidas y su relación con la probabilidad de fallo; pero la ingeniería inversa también sirve para determinar características y procesos de manufactura, debido a que cada proceso deja una huella particular y por lo tanto se puede clasificar en grandes grupos de procesos como fue fabricado.

<sup>7</sup> Wang Rui & Georg Lothar Thimm & Ma Yongsheng. Wang Rui & Georg Lothar Thimm & Ma Yongsheng. Review: geometric and dimensional tolerance modeling for sheet metal forming and integration with CAPP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology December 2010, Volume 51, Issue 9.

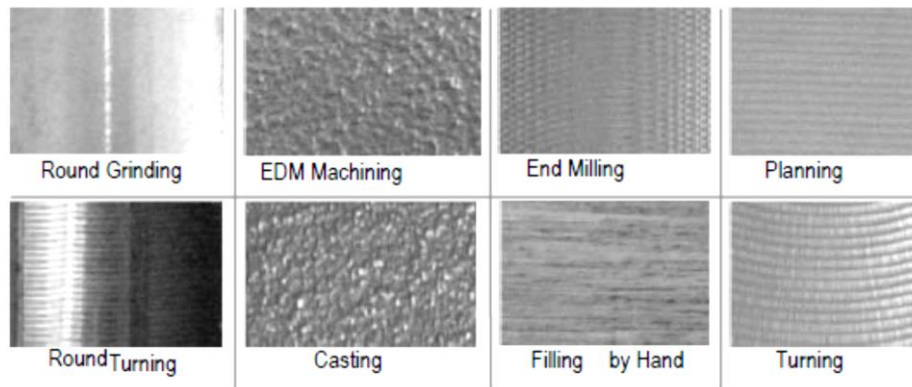


Fig. 2. Texturas hechas por diferentes procesos de manufactura<sup>8</sup>

Finalmente, pese que se han realizado gran cantidad de desarrollos y evaluaciones relacionadas con la asignación de las tolerancias, no se ha validado un proceso para determinar la viabilidad y las limitaciones del proceso en un caso que implique un ensamble mecánico. Ya que el análisis se limita propiamente a la evaluación de una sola pieza o en su defecto una revisión teórica que busca especificar todos los métodos disponibles para realizar el proceso de asignación de la mejor manera posible.

---

<sup>8</sup> J. Jamshidi, A. R. Mileham and G. W. Owen. Dimensional tolerance approximation for reverse engineering applications. international design conference - design 2006 dubrovnik - croatia, may 15 - 18, 2006.



## 4 JUSTIFICACION

El uso de tecnología de digitalización en la ingeniería inversa en el campo del diseño mecánico durante los últimos años se ha implementado con más énfasis, debido a la facilidad de recopilar información en corto tiempo. Sin embargo en ensambles mecánicos no existe un procedimiento que evalúe los parámetros que afecten al ensamble en general y que a su vez garanticen el funcionamiento del conjunto, por lo que se requiere elaborar una metodología que recopile una variedad de ítems que deben ser solucionados a la hora de garantizar una asignación efectiva de las tolerancias de modo que se reduzca la prueba y error en los procesos, así mismo otorgar las cualidades funcionales propuestas en el diseño original.

Con el fin de que cualquier persona con la disponibilidad de los medios tecnológicos en cuanto a adquisición de datos y software de diseño pueda tener en sus manos una serie de herramientas que faciliten el proceso de re manufactura de piezas no normalizadas, para no depender de la experticia del personal en particular que realiza ajustes y determina tolerancias debido a que lleva muchos años y por lo tanto tiene un criterio para este fin.

Se evidencia que el costo asociado a la re manufactura suele ser muy elevado debido a que el proceso como se realiza actualmente, carga consigo precios de tiempo, de mano de obra y montaje más de una vez para garantizar el funcionamiento del ensamble, teniendo en cuenta precios en funcionamiento de maquinaria y costos de energía.

Al validar un modelo controlado desde su concepción y apoyados en tecnología CNC y la asignación de tolerancias para la fabricación, reducimos la variabilidad del proceso, ya que se excluye errores asociados al personal que fabrica las piezas y por lo tanto se puede hacer un estudio mucho mas confiable; sumado a esto el uso de equipos de digitalización y verificación le proporcionaran mayor confiabilidad al desarrollo metodológico que se plantea elaborar. Todo esto con la finalidad de proporcionar el mejor escenario para generar el mejor análisis disponible de un proceso real, de modo que pueda ser replicado y obtener éxito en futuros procesos productivos que hagan uso de lo planteado.

## 5 OBJETIVOS

### Objetivo general

Desarrollar una metodología para la asignación de tolerancias en un ensamble mecánico dentro de un proceso de ingeniería inversa

### Objetivos específicos

Elaborar un estado del arte relacionado con el control dimensional en ingeniería inversa.

Realizar un ensamble, controlando en el diseño y la manufactura los ajustes y tolerancias.

Utilizar equipos de digitalización para capturar la geometría de las piezas y realizar el análisis de tolerancias

Asignar las tolerancias a las piezas digitalizadas y mecanizar para ejecutar un comparativo con el modelo original

Revisar dimensionalmente el adecuado ajuste entre piezas y garantizar un efectivo funcionamiento del ensamble nuevo.

Determinar los aspectos principales del proceso, así como sus variables fundamentales para la especificación de la metodología.

## 6 MARCO TEÓRICO

Para la realización de procesos de ingeniería inversa alrededor del mundo se han apoyado en el uso de equipos tecnológicos encargados de la obtención de la geometría de la pieza divididos en dos grandes grupos, equipos de contacto y de no contacto; en el primero de ellos, el implemento con mayor uso esta referenciado a equipos de medición por coordenadas (CMM), que presentan una gran resolución pero que se ven afectados porque se debe realizar una cantidad muy grande de mediciones para obtener información susceptible de ser analizada.

Lo que conlleva a un uso más frecuente en el campo de la inspección de este tipo de artefactos debido a su limitación de obtención de información. Esto se debe a su principio de funcionamiento, que consiste en el uso de un punto específico de referencia general para toda la máquina, para que posteriormente cada dato nuevo que sea añadido este ubicado respecto a ese eje coordenado.

En el grupo de aparatos sin contacto con la pieza se destaca el termino scanner, estos elementos no están referenciados a un punto específico sino que la pieza en si misma determina el sistema de referencia, aquí se realiza una división en dos grandes grupos determinada por el tipo de tecnología para la captura de datos, el primer grupo consiste en la utilización de un sistema óptico. Y luego encontramos equipos laser, cuyo principio de funcionamiento consiste en el uso de triangulación, es decir se proyecta un rayo de luz sobre el objeto que se desea digitalizar y mediante el uso de cámaras acopladas al equipo mediante cálculos se determinan las variaciones en la pieza conociendo la longitud de la luz enviada y midiendo su proyección generando triángulos con los que se conoce la posición exacta.

Al ser un haz de luz que recorre la totalidad del elemento la cantidad de datos que se obtienen es de un número muy elevado denominada nube de puntos, que son evaluados mediante el uso de un algoritmo que determina cuales son los cambios significativos a lo largo de todo el objeto, creando relaciones lógicas para la reconstrucción y posterior mallado de toda la pieza, en un lapso de tiempo muy reducido; para entender mejor esta información se presenta a continuación un esquema general de los métodos de captura.

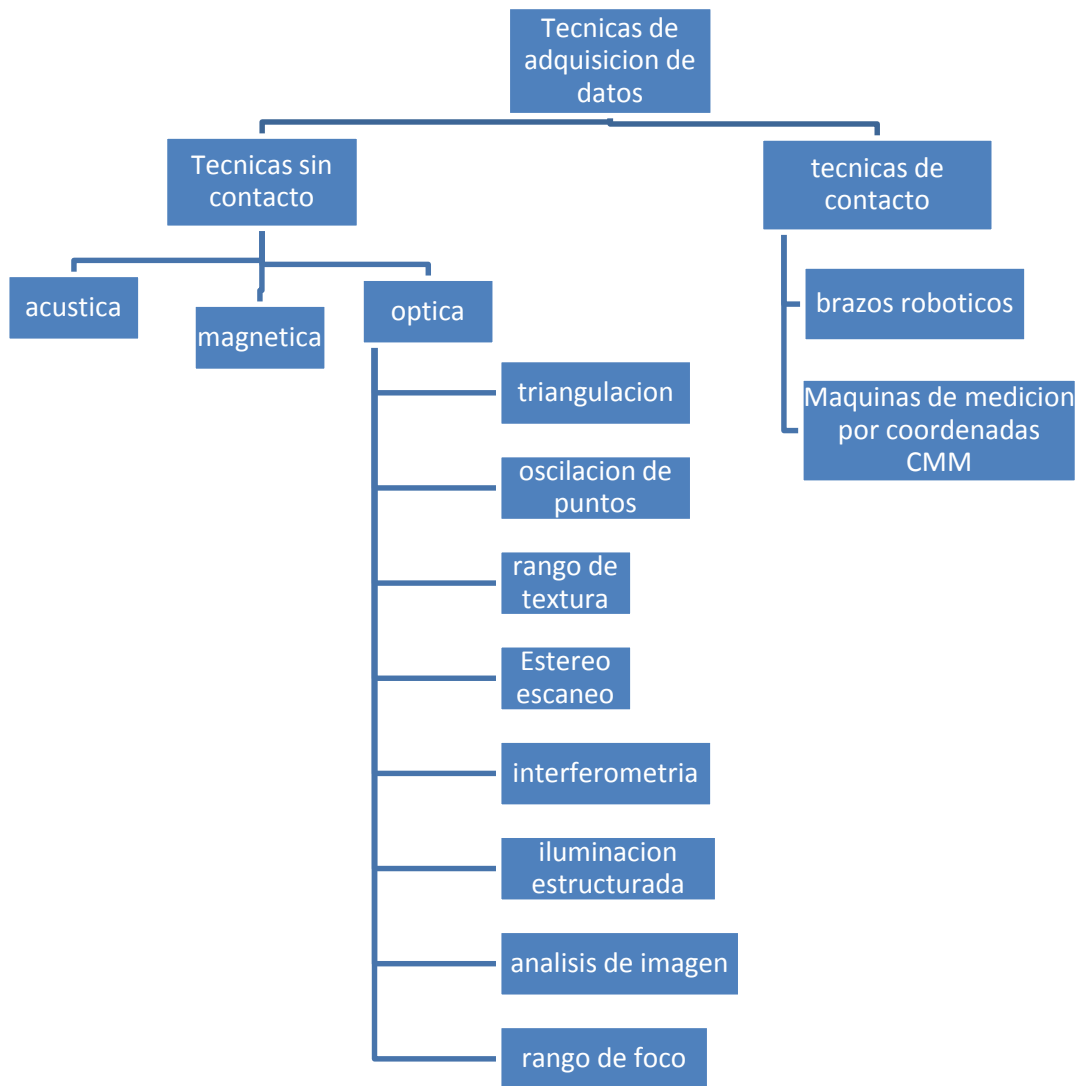


Fig3. Clasificación de técnicas de adquisición de datos<sup>9</sup>

Al realizar la comparación de la tecnología láser vs óptica con una pieza modelo se encontró que el desempeño de los scanner laser es mejor en aspectos como la planitud y cilindridad <sup>10</sup>, esto obtenido mediante la aplicación de una comparación utilizando una pieza controlada y un equipo STEINBICHLER COMET L3D como dispositivo óptico y en el caso del láser se realizó con un CREAFORM EXASCAN; en un ambiente controlado, para reducir errores relacionados con la toma de datos, realizando el procedimiento tres veces para tener una muestra significativa y por lo tanto realizar un comparativo.

La colección de puntos que se obtiene en el proceso se denomina nube de puntos, estos datos deben ser agrupados de modo que se pueda obtener un enmallado consistente con la pieza de estudio, que cumpla las características

<sup>9</sup> Eyup Bagci. Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies. Advances in Engineering Software 2009

<sup>10</sup> Teodor Tóth, Viktória Rajtűková, Jozef Živčák. Comparison of Optical and Laser 3D Scanners. CINTI 2013 • 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics • 19–21 November, 2013 • Budapest, Hungary

dimensionales que tiene la pieza original, para esto el software que realiza el procesamiento de datos cuenta con un código denominado algoritmo; cuya finalidad es la de determinar puntos consecutivos con forma similar y agruparlos bajo una superficie, de modo que se pueda diferenciar los cambios representativos sobre la pieza y darle un orden lógico a las superficies. Estos códigos se han evaluado y día a día buscan ser mejorados para que sea menor la cantidad de puntos que se requieran para construir las superficies, con la finalidad de reducir el peso de los archivos generados, y por lo consiguiente mejorar el uso de los mismos en los programas CAD; sin embargo se presentan fallos como superposición de superficies o falta de ellas al revisar los archivos generados, para esto se han creado como parte de algoritmo compensaciones que buscan reducir estos fallos.

La adquisición de la pieza es el primer paso, para luego abordar lo concerniente al problema puntual, las tolerancias en el proceso de ingeniería inversa para ensambles mecánicos; para entender con profundidad el concepto se hablara de tolerancias geométricas y tolerancias paramétricas ya que es la clasificación general en la que se pueden dividir.

Las tolerancias geométricas se relacionan con un método donde se clasifican en tres procesos, especificación, ubicación y análisis<sup>11</sup>, esto se realiza identificando los requerimientos, así como las piezas que llevan los valores de referencia, para luego determinar la tolerancia correspondiente y su ubicación, para que finalmente se realice el proceso de análisis donde se verifica que se cumpla el exigencia de entrada; todo esto asociado directamente con la forma. La forma más simple de estas tolerancias es el caso lineal, donde se reduce a la selección del valor que cumple con la especificación; sin embargo este caso tiene limitaciones a lo hora de realizar inspecciones e interpretación. De otro lado las tolerancias paramétricas son aquellas relacionadas con los parámetros de diseño, donde se debe identificar las interacciones críticas entre las tolerancias dimensionadas.

Todo esto se busca integrar en los métodos de análisis de tolerancias, como se hablaba anteriormente existe para el método de acumulación dos herramientas principales, peor caso y suma de cuadrados y en el modelo estadístico se encuentra el método de Montecarlo. A continuación se mencionara en que consiste cada uno de ellos.

El método de peor caso (worst case) consiste en ubicar la zona de tolerancia que garantice el funcionamiento de la pieza, esto cumpliendo con condiciones de mínimo y máximo material; por otro lado la suma de cuadrados (RSS), busca la construcción de una distribución normal a lo largo de una cadena de tolerancias, con la limitación de ser aplicable a dimensiones lineales. Finalmente el método de Montecarlo tiene como objetivo simular la probabilidad de una distribución de tolerancias mediante el uso de reglas estadísticas y por lo tanto de datos de distribución de las zonas e tolerancia.

---

<sup>11</sup> Antonio Armillotta , Quirico Semeraro. Geometric Tolerances. Geometric Tolerance Specification. Springer-Verlag London Limited 2011. Pg4

## 7 METODOLOGÍA

Para realizar el proceso de la mejor forma posible se determina la siguiente metodología para la realización del proyecto:

1. Construcción del marco teórico: Diferenciar los diferentes temas que conciernen el problema de la asignación de las tolerancias dimensionales y el enfoque que existe en diferentes campos desde el punto de vista del diseño, la producción y la ingeniería inversa; asimismo revisar los métodos que rodean el proceso de digitalización, su capacidad, su forma de operación y lenguaje de comunicación para obtener el modelo de las piezas.
2. Determinación del estado del arte: Búsqueda en base de datos y paginas académicas donde se haya planteado un problema o aspecto similar y evaluación del enfoque que se le ha dado para la solución
3. Diseño de la pieza modelo: Debido a que el objetivo principal es el desarrollo de una metodología mediante un enfoque práctico, se elaborara un diseño dentro de una plataforma CAD de cuatro piezas unidas entre sí, con ajustes y tolerancias, con el que se desempeñaran las actividades de evaluación de las variables relacionadas.
4. Fabricación del modelo: En esta etapa se realizara con ayuda de un centro de mecanizado CNC la elaboración de los componentes del ensamble, con el fin de lograr la mayor precisión posible; para luego ser verificados mediante el uso de CMM los valores críticos asignados en el diseño
5. Escaneo: Se escanearan los cuatro componentes del ensamble para luego ser pasados a un archivo manejable por un programa CAD para realizar su procesamiento y su asignación de tolerancias.
6. Elaboración de la metodología: Mediante el uso de conceptos teóricos y herramientas estadísticas, determinar la mejor ruta para asignar las tolerancias y proceder a mecanizar nuevamente las piezas que serán verificadas nuevamente con el uso de CMM para finalmente comparar los puntos críticos del elemento original con el reconstruido.
7. Redacción del documento: Se elaborara un documento con los resultados obtenidos, que reúna todo este proceso especificando la ruta, y los aspectos más relevantes a ser tenidos en cuenta para la asignación de tolerancias, resaltando los aspectos más significativos del proceso de investigación realizado.



## 9 PRESUPUESTO

MATERIAL	CANTIDAD	COSTO POR UNIDAD	COSTO TOTAL
Acero 1020 (500x500) mm espesor 1/2"	1	\$150.000	\$150.000
CENTRO DE MECANIZADO CNC	8 (PRECIO POR HORA)	\$120.000	\$960.000
MANO DE OBRA DE MAQUINADO	1	\$120.000	\$120.000
Escáner 3D	8	\$150.000	\$1.200.000
papelería	1	\$200.000	\$200.000
transporte	1	\$200.000	\$200.000

**Costo total: \$2.630.000**



## 10 BIBLIOGRAFÍA

- KAIRSALIS George J, A Systematic Approach for Geometrical and Dimensional Tolerancing in Reverse Engineering, Reverse Engineering - Recent Advances and \* Applications, InTech 2012, pg 134 recuperado de: <http://www.intechopen.com/books/reverse-engineering-recent-advances-and-applications/a-systematic-approach-for-geometrical-and-dimensional-tolerancing-in-reverse-engineering> el 30 de mayo de 2016
- Meiqing Liu, Yaohua Bai, Qiuwei Li, Zhiyong Liu, Qi Lin. Three-dimensional Reverse Engineering Modeling and Numerical Simulation of Pump Based on Laser Scanning Technology\*. E-Product E-Service and E-Entertainment (ICEEE), 2010
- Jiang, Z., et al., Reliability and cost optimization for remanufacturing process planning, Journal of Cleaner Production (2016), recuperado de: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.11.037> el 30 de mayo de 2016
- M. Bici, F. Campana, A. Trifirò. C.Testani. Development of automatic tolerance inspection through reverse engineering. Metrology for Aerospace (MetroAeroSpace), 2014 IEEE
- Changhong Guo, Bingli Zhao. Bifu Hu, Ping Xi. The research and realization on computer-aideed aircraft tolerance desing based on UG. Mechanic Automation and Control Engineering (MACE), 2010 International Conference on
- Songgang Xu, John Keyser. Statistical geometric computation on tolerances for dimensioning. Computer-Aided Design 2016.
- Wang Rui & Georg Lothar Thimm & Ma Yongsheng. Wang Rui & Georg Lothar Thimm & Ma Yongsheng. Review: geometric and dimensional tolerance modeling for sheet metal forming and integration with CAPP. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology December 2010, Volume 51, Issue 9
- J. Jamshidi, A. R. Mileham and G. W. Owen. Dimensional tolerance approximation for reverse engineering applications. international design conference - design 2006 dubrovnik - croatia, may 15 - 18, 2006.
- Eyup Bagci. Reverse engineering applications for recovery of broken or worn parts and re-manufacturing: Three case studies. Advances in Engineering Software 2009
- Teodor Tóth, Viktória Rajtúková, Jozef Živčák. Comparison of Optical and Laser 3D Scanners. CINTI 2013 14th IEEE International Symposium on Computational Intelligence and Informatics 19–21 November, 2013 Budapest, Hungary

- Yaron Ostrovsky-Berman, Leo Joskowicz. Tolerance envelopes of planar mechanical parts with parametric tolerances. Computer-Aided Design (2005)
- Jianyang Li Fenquin Zhou. Research on Key technology of three-dimensional laser scanning data processing. 2013 international conference on computer sciences and applications