

| 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): | Efraín |  |
| Apellido (s): | Acero Arévalo | |
| Código: | 20102275001 | |
| E-mail: | warrant_87@hotmail.com | |
| Teléfono fijo: | 6862474 | |
| Celular: | 3144619228 | |
| Ejecutor 2 | | |
| Nombre (s): | Jorge Giovanni |  |
| Apellido (s): | Villanueva Godoy | |
| Código: | 20111275039 | |
| E-mail: | jgvillanueva@hotmail.com | |
| Teléfono fijo: | 2998206 | |
| Celular: | 3214299324 | |
| INFORMACIÓN DEL PROYECTO | | |
| Título del Proyecto: | Estado del arte de la síntesis óptima de tolerancias en ensambles mecánicos bajo técnicas UMDO* | |
| 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: | Proyecto Científico | |
| Línea de Investigación de la Facultad*: | Desarrollo tecnológico local e institucional | |
| Línea de Investigación del Proyecto Curricular**: | Diseño en ingeniería mecánica | |
| Grupo de Investigación: | DISING | |
| Proyecto de Investigación: | Síntesis óptima de tolerancias en ensambles mecánicos bajo técnicas UMDO* | |
| Áreas del conocimiento que involucra: | Diseño, Investigación documental. | |
| INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA | | |
| Director: (Vo. Bo.) | Víctor Ruiz Rosas | |
| Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.) | | |
| Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.) | Mirna Jirón | |

* UMDO (Técnicas de Diseño Óptimo Multiobjetivo bajo Incertidumbres)

TABLA DE CONTENIDO

| | |
|---|----|
| 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO..... | 1 |
| 1.1 Contexto Nacional | 1 |
| 1.2 Contexto Local | 5 |
| 1.3 Diagnóstico | 10 |
| 1.4 Problema..... | 10 |
| 2. ESTADO DEL ARTE | 10 |
| 2.1 Asignación de tolerancias..... | 12 |
| 2.2 Síntesis de tolerancia concurrente | 14 |
| 3. JUSTIFICACIÓN | 16 |
| 4. OBJETIVOS | 18 |
| 4.1 Objetivo General | 18 |
| 4.2 Objetivos Específicos | 18 |
| 5. MARCO TEÓRICO | 18 |
| 5.1 Investigación Documental | 18 |
| 5.2 Investigación Informativa (expositiva)..... | 20 |
| 5.3 Los recursos informativos, las fuentes de información | 21 |
| 5.5 Reunión de la información y evaluación de las fuentes | 22 |
| 6. METODOLOGÍA..... | 22 |
| 7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES..... | 26 |
| 8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN..... | 27 |
| BIBLIOGRAFÍA..... | 29 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|--|---|
| Figura 1. Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación-Colombia..... | 3 |
| Figura 2. Investigadores por millón de habitantes, 2005 (*2004)..... | 4 |

| | |
|--|---|
| Figura 3. Unidad de Investigación..... | 6 |
| Figura 4. Modelo de investigación de la Facultad Tecnológica. | 7 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Cronograma de actividades | 26 |
| Tabla 2. Presupuesto General del proyecto..... | 27 |
| Tabla 3. Recursos humanos. | 27 |
| Tabla 4. Recursos de Materiales. | 28 |

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DEL PROYECTO DE GRADO

1.1 Contexto Nacional

En Colombia Colciencias, organismo principal de la administración pública y rector del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (SNCTI) (ver Fig. 1), se encarga de formular, orientar, dirigir, coordinar, ejecutar e implementar la política del Estado en materia de ciencia, tecnología e innovación. Uno de los objetivos generales de esta entidad es fundamentar y favorecer la proyección e inserción estratégica de Colombia en las dinámicas del sistema internacional que incorporan el conocimiento y la innovación y generan posibilidades y desafíos emergentes para el desarrollo de los países y sus relaciones internacionales, en el marco de la sociedad global del conocimiento. (Artículo 6, Ley 1286 de 2009, 2009).

Teniendo en cuenta este objetivo, se faculta a Colciencias para generar directrices en las áreas de la ciencia, la tecnología y la innovación, razón por la cual esta entidad desarrolla planes estratégicos que tienen como propósito fortalecer las actividades de investigación y desarrollo, en el nuevo escenario de la globalización y la competitividad. El Plan Estratégico, del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico Industrial y Calidad 2005-2015¹, propone la orientación estratégica y actualización, sus estrategias, líneas de acción e instrumentos, tendencias tecnológicas de la industria a nivel internacional, y consigna su situación actual y las perspectivas futuras de las políticas principales que lo orientan y que ejecuta.

La cuarta política del plan es impulsar la consolidación del Sistema Nacional de Innovación para que cumpla sus tareas principales de absorción y distribución de conocimiento entre los componentes (políticas, estrategias, metodologías y mecanismos para la gestión, promoción, financiación, protección y divulgación de la investigación científica y la innovación tecnológica), y agentes (Universidades, Grupos de investigación y Empresas de bienes y servicios) involucrados en la competitividad.

En el plan estratégico una de las tendencias estratégicas en generación de productos innovadores con valor agregado a escala nacional y que se ve

¹ COLCIENCIAS. Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas", Colciencias. Plan Estratégico del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad (1era Ed.). 2005. Bogotá, Colombia.

involucrado directamente en la competitividad es el de los servicios de ingeniería y consultoría. “El sector posee grandes potencialidades para exportar, producir bienes de mayor valor e impulsar otros sectores, pero aún le falta capacidad para aprovechar la generación de conocimiento proveniente de las universidades”².

² COLCIENCIAS. Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas”, Colciencias. Capítulo II Nuevos Patrones de Especialización Tecnológica. Plan Estratégico del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico, Industrial y Calidad (pp. 48-49). 2005. Bogotá, Colombia.

Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación - Colombia

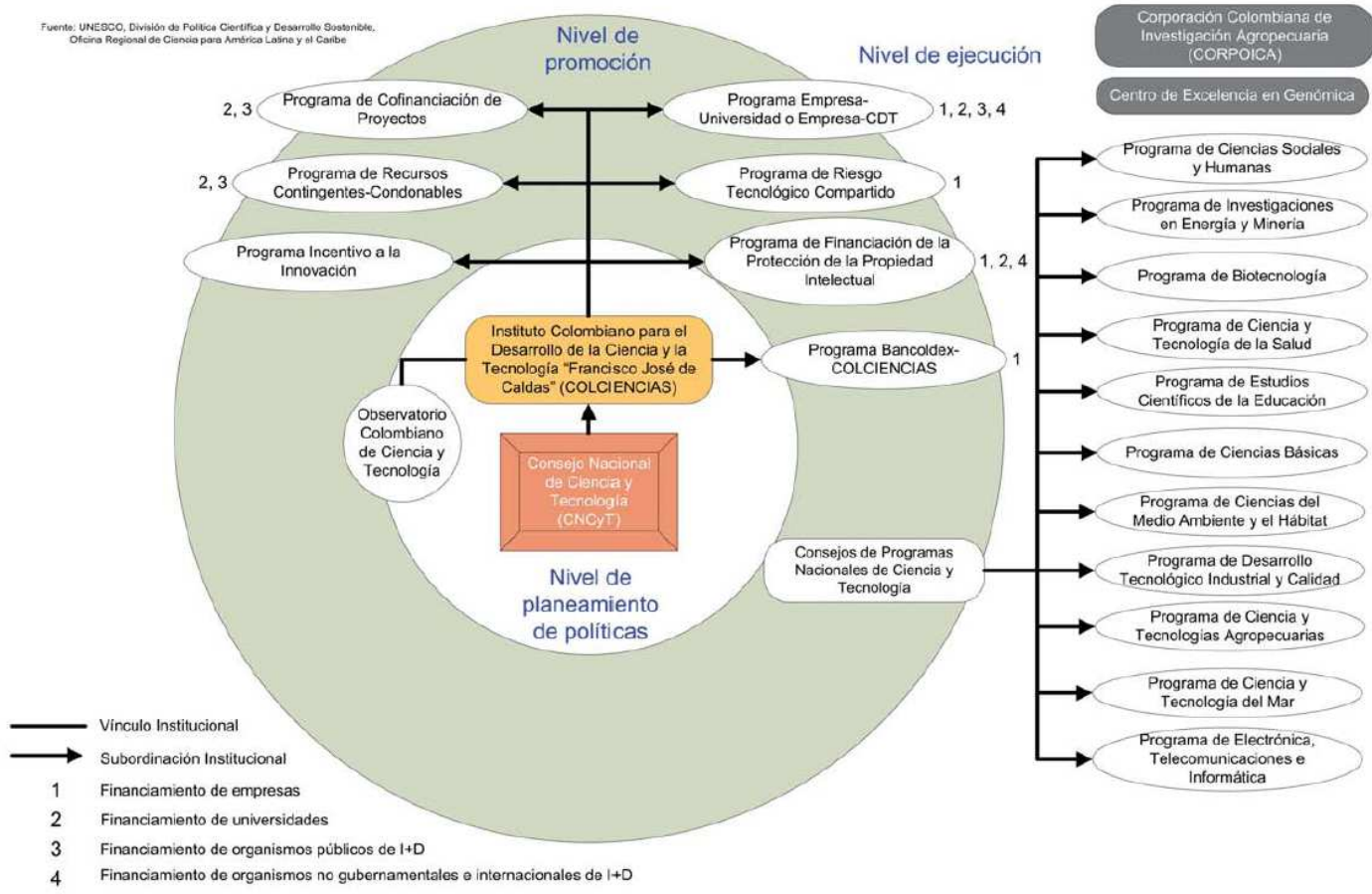


Figura 1. Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación-Colombia.

Fuente: UNESCO, División de Política Científica y Desarrollo Sostenible. Oficina Regional de Ciencia para América Latina y el Caribe, 2009.

Otro de los programas que se encuentra articulado con la cuarta política del Programa Nacional de Desarrollo Tecnológico y enmarcada a su vez en el SNCTI es el Programa Nacional de Fomento a la Formación de Investigadores³, cuyo objetivo principal es formar investigadores de excelencia con el fin de incrementar las capacidades nacionales en investigación e innovación. Estos programas propician el fortalecimiento de las áreas de investigación en las diferentes universidades a nivel nacional, mediante la creación de grupo de investigación, que son el núcleo o unidad básica del SNCTI para la generación de conocimiento⁴. A nivel nacional, y según los datos estadísticos de Colciencias⁵ existen 735 grupos de investigación en el área de ingenierías, de los cuales 75 son en Ingeniería Mecánica.

Con el propósito de que los objetivos propuestos por un grupo de investigación se puedan cumplir, es necesario que los integrantes que pertenecen al mismo, tengan posibilidad de participar en la Política Científica y Formación Doctoral en Colombia⁶, según el Ministerio de Educación Nacional MEN (Observatorio Laboral para la Educación) el país, respecto al resto del mundo, tiene un número muy reducido de investigadores por millón de habitantes (ver Fig. 2). El número de doctores graduados por año, paso de 15 en el 2000 a 102 en 2007⁷.

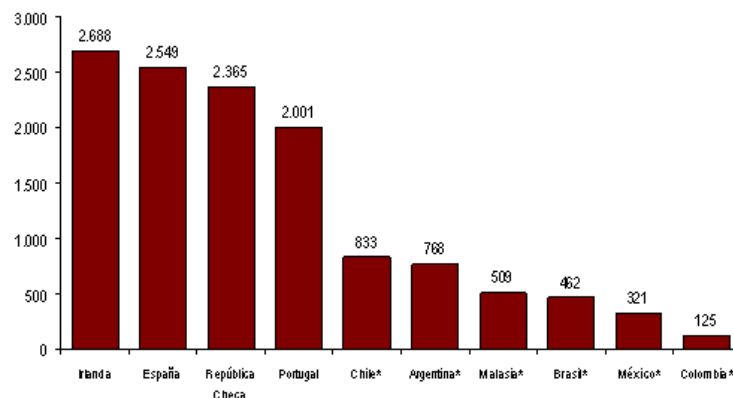


Figura 2. Investigadores por millón de habitantes, 2005 (*2004).
Fuente: MEN (Observatorio Laboral para la Educación), UNESCO.

³ Formación de investigadores. [en línea]. [consultado el 15 de abril de 2012]. Disponible en <http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/formacion-de-investigadores>.

⁴ COLCIENCIAS. Grupos de Investigación, fortalecimiento y consolidación. [en línea]. [consultado el 15 de abril de 2012]. Disponible en <http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/grupos-de-investigacion-fortalecimiento-y-consolidacion>.

⁵ Ciencia y tecnología para todos. [en línea]. [consultado el 15 de abril de 2012]. Disponible en <<http://201.234.78.173:8083/cienciawar/BusquedaGrupoXArea.do;jsessionid=E67B2341AD12AF5F02B43FBD5BBC7D31>>.

⁶ DE GREIFF ACEVEDO, Alexis. *Política Científica y Formación Doctoral en Colombia. Resultados y Retos*. Santiago de Cali, Colombia. 2007.

⁷ CÁRDENAS S., Jorge Hernán. *Formación de Investigadores en Colombia y algunas recomendaciones de Política*. Seminario Internacional sobre Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, Colombia. 2008.

1.2 Contexto Local

La universidad como agente del SNCTI se encuentra facultada para operar en los niveles de promoción y ejecución de programas de investigación en las diferentes áreas de conocimiento por lo tanto “se hacen visibles las funciones universitarias de investigación, extensión e innovación, a través de la articulación armónica de las diferentes formas de organización y gestión para avanzar en su cualificación y consolidar alternativas de crecimiento y desarrollo de la sociedad y la ciudad región”.⁸

En el contexto de la ciudad región, la Universidad Distrital y Bogotá “presentan niveles de crecimiento significativo en los últimos años, se ha construido un entorno de innovación que ofrece ventajas competitivas y de desarrollo de valía para implementar estrategias de ciencia y tecnología”⁹, y por lo tanto le corresponde a la universidad

Ejercer el liderazgo en la construcción de una visión prospectiva para desarrollar en el corto, mediano y largo plazo, una capacidad endógena de ciencia y tecnología como base para una gestión competitiva en las organizaciones públicas y privadas, creando condiciones de generación, difusión y utilización del conocimiento que incrementen la productividad y mejoren la calidad de vida de sus habitantes¹⁰.

La Universidad Distrital Francisco José de Caldas con sede en Bogotá, en su visión menciona que “será reconocida nacional e internacionalmente por su excelencia en la construcción de saberes, conocimientos e investigación de alto impacto para la solución de los problemas del desarrollo humano”¹¹. En la universidad la dependencia encargada de reglamentar, promover, controlar, evaluar, y socializar la investigación es el Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico CIDC, dos de sus objetivos¹² son:

⁸ UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Campos Estratégicos de Desarrollo institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo 2007-2016* (pp. 66). 2007. Bogotá, Colombia.

⁹ UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Campos Estratégicos de Desarrollo institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo 2007-2016* (pp. 67). 2007. Bogotá, Colombia.

¹⁰ UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Campos Estratégicos de Desarrollo institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo 2007-2016* (pp. 69). 2007. Bogotá, Colombia.

¹¹ UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Visión Universidad Distrital Francisco José de Caldas. [en línea]. [Consultado el 22 de abril de 2012]. Disponible en <<http://udistrital.edu.co/#/universidad.php>>.

¹² UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. [en línea]. [Consultado el 15 de abril de 2012]. Disponible en <<http://udistrital.edu.co/#/investigacion.php>>.

- Estimular la formación de grupos de investigación de carácter institucional e interinstitucional de alta calidad.
- Fomentar, coordinar, gestionar, evaluar y divulgar los proyectos de investigación y las actividades derivadas de tales procesos.

Si bien el CIDC reglamenta, promueve, controla, evalúa, y socializa la investigación mediante políticas tendientes al desarrollo y consolidación de esta actividad como función esencial de la Universidad, es en cada facultad donde se empiezan a gestar acciones para la construcción de un conocimiento tecnológico, que dé respuesta a las necesidades actuales y futuras en los ámbitos social y productivo.

En razón a ello, la Facultad Tecnológica a lo largo de sus años de existencia ha consolidado los procesos de investigación con miras a incrementar la capacidad nacional de investigación aplicada, y consolidarla como uno de los pilares de la formación de ingenieros por ciclos propedéuticos.

En la Facultad Tecnológica se entiende por Investigación¹³ “la actividad de docentes y estudiantes dirigida a indagar sobre los fenómenos y cosas que integran la naturaleza, la sociedad y el hombre, con el propósito de verificar, recrear o ampliar el conocimiento para servicio de la comunidad”. De conformidad con el Acuerdo No. 002 de 2002 del Consejo de Facultad, la investigación en la Facultad Tecnológica se encuentra soportada en la siguiente estructura administrativa: La Unidad de investigación (ver Fig. 3), La dirección de la Unidad, El Comité de investigación y la Secretaría técnica.

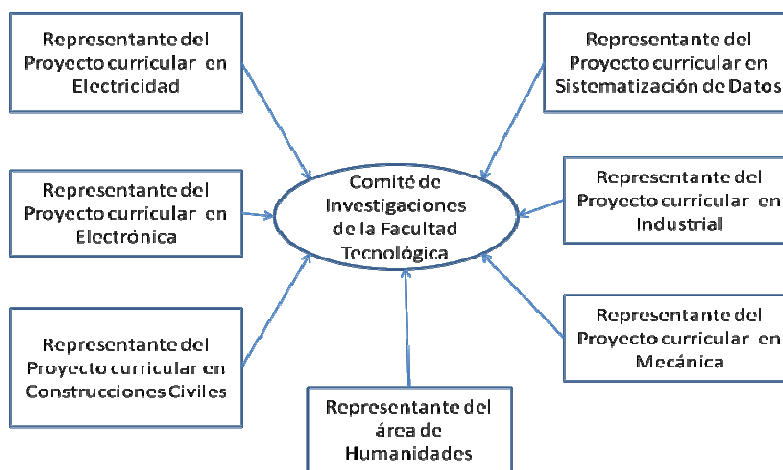


Figura 3. Unidad de Investigación.

Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Proyecto Curricular de Mecánica.

¹³ Acuerdo 002 de 2002 del Consejo de Facultad de la Facultad Tecnológica.

Las políticas de investigación propuestas para la Facultad Tecnológica son:

- Formar investigadores y grupos de Investigación con alto nivel académico e interdisciplinario.
- Fomentar el espíritu investigativo mediante la implementación de una adecuada infraestructura física, bibliográfica, tecnológica y de comunicaciones.
- Impulsar y apoyar la generación de proyectos que estén encaminados a solucionar problemas de la sociedad.
- Incorporar la actividad investigativa sistemática y estructurada como parte del quehacer cotidiano de la comunidad académica.
- Fomentar la participación de la comunidad universitaria en los proyectos de investigación mediante infraestructura, recursos y estímulos adecuados.

El modelo de investigación de la Facultad Tecnológica se resume en la Figura 4, y muestra la manera en que interactúan los profesores y alumnos que intervienen en el proceso de generación de grupos de investigación, en particular en el proyecto curricular de Ingeniería Mecánica existen cinco líneas de investigación: Energías alternativas, Materiales y procesos, Diseño mecánico, Automatización industrial y Educación tecnológica.¹⁴

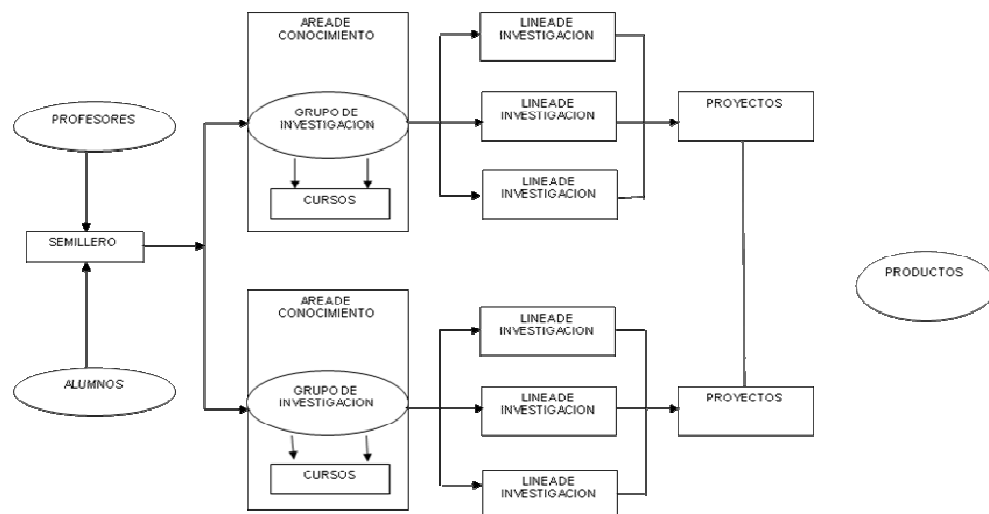


Figura 4. Modelo de investigación de la Facultad Tecnológica.

Fuente: Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica, Proyecto Curricular de Mecánica.

¹⁴ PROYECTO CURRICULAR DE MECÁNICA. El desarrollo de la investigación en el Proyecto Curricular de Mecánica, 2009.

Cada línea de investigación tiene un grupo de soporte; para el caso de los temas de Materiales y procesos y Diseño mecánico el Grupo de Investigación DISING¹⁵ es el encargado de realizar énfasis en estas temáticas:

- a) Desarrollo de Materiales y procesos de ingeniería
- b) Diseño conceptual de productos y creatividad técnica
- c) Diseño de productos de alta sofisticación técnica
- d) Ecodiseño: la integración del concepto ambiental en los procesos de diseño y desarrollo de productos
- e) La enseñanza del diseño
- f) Metodologías y herramientas de apoyo al diseño de productos
- g) Nuevos materiales aplicados al diseño mecánico

Los objetivos¹⁶ del grupo son los siguientes:

- Ser un grupo de referencia a nivel nacional en la temática propia del Diseño en Ingeniería.
- Establecer y participar en redes nacionales e internacionales relacionadas con las diferentes líneas de investigación propias del grupo.
- Vincular estudiantes de diferentes proyectos curriculares tanto de la Facultad Tecnológica como de otras facultades, en las diferentes acciones del grupo.
- Construir espacios de relación con empresas para desarrollar proyectos colaborativos de desarrollo e innovación en productos.

En el grupo de investigación DISING se encuentran vinculados profesores, que además de realizar tareas de investigación recurren a procesos de formación postgradual, específicamente de doctorado en el marco de la política de formación doctoral de la universidad con el fin de fortalecer sus conocimientos y saberes con el propósito de elevar la productividad académica; según el Acuerdo No. 009 del 2007 del Consejo Superior Universitario, por el cual se reglamenta el Estatuto Docente en cuanto a políticas y procedimientos para el Apoyo a la Formación Postgradual de alto nivel a profesores de carrera:

¹⁵ DISING: Grupo de investigación en Ingeniería de Diseño. Registrado en Colciencias en Junio de 2005 e institucionalizado en la Universidad Distrital en Junio de 2007. [en línea]. [consultado el 22 de abril de 2012]. Disponible en <<http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=0000002244>>.

¹⁶ RUIZ ROSAS, Víctor. CAVANZO NIZO, Gloria Andrea. GUEVARA BOLAÑOS, Juan Carlos. *Diseño óptimo de semirremolques para vehículos pesados apoyado en una plataforma colaborativa*. (pp.45). Bogotá, Colombia. 2009.

Artículo 2. Considerar los siguientes campos de acción en los programas de Formación Postgradual de alto nivel de la universidad:

- Formación de Magísteres y Doctores en campos del conocimiento afines a la Educación, a las Ciencias Básicas y Aplicadas, a las Ingenierías y a las Artes principalmente, aun cuando previa justificación se extenderá a otras áreas del conocimiento.
- Cursos Postdoctorales en campos del conocimiento afines a la Educación, a las Ciencias básicas y aplicadas a las Ingenierías y a las Artes.

Gracias a esta política de formación, el Ingeniero Mecánico Víctor Ruiz Rosas, docente de planta del Proyecto Curricular de Ingeniería Mecánica de la Universidad Distrital, y estudiante de Doctorado en Ingeniería Mecánica y Mecatrónica, presentó ante la Universidad Nacional de Colombia la propuesta de tesis de doctorado titulada: Síntesis óptima de tolerancias en ensambles mecánicos bajo técnicas UMDO¹⁷; en el marco de la realización de la propuesta y teniendo en cuenta el objetivo del grupo de investigación DISING de involucrar estudiantes de diferentes proyectos curriculares en el proceso de investigación, se decide por parte del investigador principal realizar el proyecto en varias etapas.

En la primera etapa¹⁸ se realizará un análisis de la problemática buscando establecer las condiciones de requerimientos funcionales en la etapa conceptual, para ensambles mecánicos con el fin de definir las variables asociadas a la definición de tolerancias. Las actividades propuestas en esta etapa son:

1. Marco teórico y referencial. Procedimiento de asignación de las tolerancias dimensionales y geométricas.
2. Identificación de las fuentes de error asociadas a las tolerancias funcionales y de manufactura.
3. Definición de las funciones de costo de manufactura y pérdida de calidad.
4. Modelamiento de las tolerancias como incertidumbres.
5. Identificación de los algoritmos de optimización utilizados en el diseño óptimo.
6. Definición de los ensambles a trabajar.

¹⁷ UMDO (Técnicas de Diseño Óptimo Multiobjetivo bajo Incertidumbre).

¹⁸ RUIZ ROSAS, Víctor E. *Síntesis óptima de tolerancias en ensambles mecánicos bajo técnicas UMDO*. Universidad Nacional de Colombia, 2012.

1.3 Diagnóstico

Evidenciando que no se ha realizado una base teórica completa sobre la que se sustente la síntesis de tolerancias en un artículo o tesis doctoral, demostrado esto en la propuesta del Ingeniero Víctor Ruiz ante la Universidad Nacional donde se reseña brevemente algunos autores que tratan básicamente el tema desde dos ramas fundamentales que son: Asignación de tolerancias utilizando herramientas computacionales complementarias al CAD y el análisis de tolerancias, y contando con la participación de auxiliares de investigación en el desarrollo de la primera actividad mencionada en la propuesta doctoral, se plantea el establecimiento de un estado del arte.

1.4 Problema

El problema que asume el presente proyecto de grado es elaborar un estado del arte que tenga en cuenta los siguientes temas: Procedimiento de asignación de tolerancias, fuentes de error asociadas a las tolerancias funcionales y de manufactura, funciones de costo de manufactura y pérdida de calidad, cuantificación de incertidumbre en diseño óptimo, modelamiento de las tolerancias como incertidumbres, y algoritmos de optimización utilizados en el diseño óptimo. Para el desarrollo se tomarán en cuenta artículos, normas y libros publicados a nivel mundial y todo aquel material de índole permanente al que se pueda acudir como fuente de referencia en momento o lugar y cuyo año de publicación se encuentre en el periodo 2000-2012.

2. ESTADO DEL ARTE

En el análisis de la diferente información recolectada para el estado del arte se encuentran varios tipos de fuentes, de las cuales se van a trabajar las de tipo académicas, tales como papers, artículos, trabajos de grado, tesis, informes de investigación, entre otras. La búsqueda de fuentes se realizó entre el período de 2000 y 2012; la mayor cantidad de fuentes analizadas se encontraron en el idioma inglés. Las diferentes fuentes de estudio se encuentran localizadas en los Estados Unidos, China, Japón, entre otros países.

Las fuentes seleccionadas fueron de acuerdo a diferentes criterios, como la asignación de tolerancias, el análisis de tolerancias y la síntesis de tolerancias; también criterios tales como el conocimiento amplio para la posterior selección de nuevas fuentes de información para el trabajo final.

Múltiples autores han abordado el proceso de dimensionamiento de partes y su correlación con las tolerancias dimensionales y geométricas y sus procedimientos se han enfocado en tres ramas fundamentales:

- Asignación de tolerancias utilizando herramientas computacionales complementarias al CAD que permiten al usuario de estos programas complementar el proceso representacional del diseño con la asignación apropiada de límites de tolerancia.
- Análisis de tolerancias en el cual se verifican los efectos de un valor determinado de tolerancia en la funcionalidad del ensamble (acumulación de tolerancias) así como en otras variables asociadas como costo, calidad y cantidad de material.
- Síntesis de tolerancias donde a partir de la información y requerimientos funcionales del producto se determinan por medio de modelos matemáticos los niveles de tolerancia convenientes.

Cada una de estas ramas ha contribuido al desarrollo de herramientas que permiten establecer apropiadamente los valores de las tolerancias dimensionales en los ensambles mecánicos, pero ninguna ha abordado el proceso de dimensionamiento de partes y su correlación con las tolerancias dimensionales y geométricas desde la metodología y el análisis documental.

Las compañías de fabricación buscan siempre productos de alta calidad, gastan mucho tiempo y dinero en el monitoreo y el control de las variaciones. La variación dimensional en las piezas de producción se acumulan o amontonan estadísticamente y se propagan a través del ensamble cinemáticamente, causando características críticas del producto final para variar. Tal variación sólo genera mayores costos durante el ensamble, requiriendo extensos reprocesos o piezas que desechar. También puede producir un desempeño no satisfactorio del producto final, incrementando drásticamente precios de garantía y creando clientes insatisfechos.

Una de las herramientas efectivas para el control de la variación es el análisis de tolerancias. Siendo así una herramienta cuantitativa para predecir la acumulación de cambios de un montaje mediante la realización de un análisis continuo.

Incluye los siguientes pasos:

1. Identificar las dimensiones las cuales van encadenadas para controlar las dimensiones críticas del montaje.

2. La media, o el promedio de la dimensión del montaje se determina sumando la media de las dimensiones de la cadena.
3. La variación de las dimensiones del montaje es estimada sumando las variaciones de los componentes correspondientes. Este proceso se llama "Acumulación de tolerancias (Stack-up)".
4. La variación del ensamble predicha es comparada con los límites de ingeniería para estimar el número de rechazos, o montajes no conformes.
5. Los cambios de diseño o de producción pueden ser hechos después de evaluar los resultados del análisis.

Si las piezas son de producción, los datos tomados pueden ser usados, se prefiere así. Sin embargo, si las piezas no están aún en producción, los datos medidos no están disponibles. En ese caso, el ingeniero busca datos en piezas y procesos similares, esa falta, puede sustituir la tolerancia en cada dimensión en lugar de su variación, asumiendo que los controles de calidad mantendrán las variaciones individuales de cada pieza sin tolerancia. Esta sustitución es tan común en la etapa del diseño que el proceso generalmente se llama análisis de tolerancias¹⁹

2.1 Asignación de tolerancias²⁰

La tolerancia es uno de los aspectos más importantes, tanto por la funcionalidad y por el costo de manufactura de productos. Es la técnica fundamental en el entorno integrado del diseño y la fabricación asistida por computador. En los sistemas convencionales de tolerancia en el diseño existen dos etapas secuenciales del procedimiento que están involucradas en la manufactura. La primera está relacionada con las tolerancias de producto, y la segunda está relacionada con las tolerancias de proceso. En el diseño de las tolerancias de producto, las especificaciones de ensamble funcional requeridas son asignadas a las tolerancias relevantes del proyecto de acuerdo a las restricciones de ensamble de la estructura. En el diseño de las tolerancias de proceso, las tolerancias obtenidas del proyecto de una pieza mecanizada determinan las tolerancias del producto, sin embargo, está además asignado a las tolerancias de proceso en términos de la información disponible del proceso de planificación.

¹⁹ CHASE, Ken. Product Development and Design. En: Basic tools for tolerance analysis of mechanical assemblies. Provo, Utah: Brigham Young University, 2006. p. 7.1-7.13.

²⁰ HUANG, Meifa y ZHONG, Yanru. Dimensional and geometrical tolerance balancing in concurrent design. Springer-Verlag London Limited. China. 2006. p. 724-735

En los sistemas convencionales de tolerancia, el proceso para determinar el proyecto o las tolerancias de proceso es tedioso y consume mucho tiempo. Por lo tanto, el resultado final o las tolerancias del proceso dependen únicamente de la habilidad de cada ingeniero. Algunas investigaciones se han llevado a cabo del dimensionamiento y las tolerancias. En estudios anteriores, las soluciones óptimas a los problemas de tolerancias eran las más vistosas, las cuales eran desarrolladas para asegurar que las dimensiones de proceso y las tolerancias satisficieran los requerimientos funcionales del montaje, o las especificaciones del proyecto. En la mayoría de métodos de programación lineal y programación no lineal las funciones objetivo eran a menudo los costos de manufactura totales.

Uno de los caminos efectivos para mejorar la eficiencia de diseño y reducir el tiempo y los costos de manufactura es integrar las dos diferentes etapas en una. En un sistema de desarrollo concurrente, podemos hacer uso de la información del proceso de planificación en la etapa del diseño de la estructura del ensamble y localizar las tolerancias del montaje directamente a las tolerancias de proceso relacionadas.

Ye y Salustri²¹, introdujeron un nuevo método de ingeniería concurrente para la asignación de tolerancias y construyeron un modelo de optimización no lineal para implementarlo. El modelo minimizaba las pérdidas de calidad y los costos de manufactura simultáneamente en una función uni-objetivo ajustando las tolerancias de diseño y las del proceso. Singh et al.²² ²³ Exploraron la aplicación de algoritmos genéticos para obtener la solución óptima de un set de problemas de diseño de tolerancias con conjuntos con la participación de cadenas de una dimensión de procesos alternativos. Prabhakaran et al.²⁴ Usaron algoritmos genéticos para la asignación de tolerancias óptimas para superar las deficiencias en el análisis convencional de tolerancias amontonada y el sistema de asignación. Prabhakaran et al.²⁵ Introdujeron un algoritmo de colonia de hormigas, algo así como un enfoque metaheurístico como una

²¹ YE, B. SALUSTRI, F. Simultaneous tolerance synthesis for manufacturing and quality. 2003. Res Eng Des 14(2). p. 98–106.

²² SINGH, Pradeep. JAIN, SC. JAIN Pramod. Tolerance allocation with alternative manufacturing processes-suitability of genetic algorithm. 2003. Proceeding Inst Mechanical Engineers. p. 22– 34.

²³ SINGH, Pradeep. JAIN, SC. JAIN Pramod. A GA based solution to optimum tolerance synthesis of mechanical assemblies with alternate manufacturing processes: focus on complex tolerancing problems. 2004. p. 5185–5215.

²⁴ PRABHAHARAN, G. ASOKAN, P. RAMESH, P. RAJENDRAN, S. Genetic algorithm-based optimal tolerance allocation using least-cost model. 2004. p.647–660.

²⁵ PRABHAHARAN, G. ASOKAN, P. RAJENDRAN, S. Sensitivity-based conceptual design and tolerance allocation using the continuous ants' colony algorithm (CACO). 2005. p. 516–526.

herramienta de optimización para minimizar la desviación de la dimensión crítica y asignando las tolerancias óptimas basadas en costo.

Krishna y Mallikarjuna Rao²⁶ usaron el método de búsqueda de dispersión para asignar simultáneamente las tolerancias de diseño y de manufactura basadas en el costo mínimo de manufactura. Huang y Shiau²⁷ obtuvieron la asignación de tolerancias optimizada de los componentes de un compresor rotativo con veleta deslizantes para la confiabilidad requerida con el costo mínimo y sin perder la calidad. Huang y Zhong²⁸ establecieron modelos de optimización lineal secuencial basados en las capacidades de proceso. Este enfoque puede liberar las tolerancias de trabajo, reducir costos de manufactura, y mejora el índice de aceptación de las partes maquinadas. Singh et al.²⁹ Introdujeron algoritmos genéticos para obtener una solución óptima para el problema de síntesis tolerancias avanzada considerando una función de costo continuo. Este método funciona para las variaciones de tolerancias simples y múltiples las cuales comparten una o más tolerancias individuales.

2.2 Síntesis de tolerancia concurrente

En el contexto de la tolerancia concurrente, Zhang³⁰, presenta un modelo matemático óptimo para el peor de los casos y un prototipo estadístico para determinar directamente las tolerancias óptimas de mecanizado en el diseño del producto. El enfoque propuesto fue ensayado en un ejemplo pero las tolerancias geométricas no fueron consideradas. Ngoi y Teck³¹ presentaron un método para la tolerancia dimensional óptima concurrente en el diseño del producto. El método propuesto esencialmente asigna las tolerancias requeridas del montaje a las tolerancias del componente, las cuales fueron primero expresadas en el proceso pertinente de tolerancia en términos de la planificación del proceso.

²⁶ KRISHNA, G. MALLIKARJUNA RAO, K. Simultaneous optimal selection of design and manufacturing tolerances with different stack-up conditions using scatter search. 2006. p. 328–333. doi: 10.1007/s00170-005-0059-0.

²⁷ HUANG, Y. SHIAU, C. Optimal tolerance allocation for a sliding vane compressor. 2006. p.98–107.

²⁸ HUANG, Meifa. ZHONG, Y. Optimized sequential design of two-dimensional tolerances. 2007. p. 579–593.

²⁹ SINGH, Pradeep. JAIN, Pramod. JAIN, Satish. Optimal tolerance design of mechanical assemblies for economical manufacturing in the presence of alternative machines—a genetic algorithm-based hybrid methodology. 2008. Proceeding Inst. Mechanical Engineers p. 591–604.

³⁰ ZHANG G. Simultaneous tolerancing for design and manufacturing. 1996. p. 3361–3382

³¹ NGOI Bka, ONG, Ct. A tolerancing optimization method for product design. 1997. p. 290–299.

Huang et al.³² presentaron un método de asignación de tolerancias dimensionales óptimas utilizando hipergrafos jerárquicos. Los algoritmos para generar las dimensiones y las cadenas de tolerancias también fueron desarrollados. Huang y Gao³³ presentaron un enfoque de ensamble óptimo de tolerancias basado en el costo mínimo de manufactura. La desviación estándar de la dimensión actual de manufactura, la probabilidad aceptada de producción, y los límites de economía de las máquinas que fueron usadas como restricciones.

Gao y Huang³⁴ y Chen et al.³⁵, presentaron métodos similares a los procesos de obtención de tolerancias concurrentes de un ensamble, utilizando la información de la planificación del proceso. Los modelos óptimos no lineales se han establecido para minimizar el peso total del costo de manufactura.

En el área de las tolerancias geométrica y dimensional, He y Gibson³⁶ fueron los primeros en investigar la relación entre las tolerancias geométricas y las tolerancias dimensionales de proceso. Ellos presentaron varios criterios de para manejar las tolerancias de las dimensiones geométricas y le asignaban restricciones para los requerimientos de tolerancias geométricas. Ngoi y Tan³⁷ también registraron algunas cuestiones claves con respecto a las tolerancias geométricas. Las tolerancias geométricas con características similares a la de las dimensiones lineales eran expresadas como tolerancias de dimensiones equivalentes, entonces, esas tolerancias eran aplicadas directamente a las gráficas de tolerancias.

Huang et al.³⁸, propusieron un enfoque gráfico óptimo para el control y localización de tolerancias planas, para considerar las tolerancias dimensionales y orientarlas al mismo tiempo. Una gráfica especial relevante se usa para expresar la relación entre las características de manufactura y sus tolerancias dimensionales relacionadas. Las cadenas de tolerancias planas

³² HUANG, Meifa, XU, Z.G., GAO, Ys, LI, Zongbin. Optimal assembly tolerance allocation using hierarchical hypergraphs. 17th International Conference on Computer-aided Production Engineering (CAPE 2001). Professional Engineering Publishing Limited London and Bury St Edmunds. 2001. UK, p. 411–414.

³³ HUANG Meifa, GAO Ys. A discrete optimal tolerancing approach based on the process capabilities. J. Huazhong University Science Technology. 2002. p. 19–21.

³⁴ GAO, Ys y HUANG, Meifa. Optimal process tolerance balancing based on process capabilities. 2003. p. 501–507.

³⁵ CHEN, Yb. HUANG, Meifa. YAO, Jc. ZHONG, Yanru. Optimal concurrent tolerance based on the grey optimal approach. 2003. p. 112–117.

³⁶ HE, Jr y GIBSON, Pr. Computer-aided geometrical dimensioning and tolerancing for process-operation planning and quality control. 1992. p. 11–20.

³⁷ NGOI, Bka. y TAN, Ck Geometrics in computer-aided tolerancing charting. 1995. p. 835–868

³⁸ HUANG, Meifa. GAO, Y. XU, Z.G., LI Z. Composite planar tolerance allocation with dimensional and geometric specifications. 2002. p. 341–347.

incluyendo las especificaciones geométricas son automáticamente generadas de acuerdo a la asignación del proceso planificado. Un modelo óptimo lineal se establece para implementar la localización de tolerancias.

Ngoi y Soew³⁹ presentaron una metodología nueva en el área de las gráficas de tolerancias geométricas directamente desde el plan de proceso. Un modelo de programación lineal fue usado para determinar las tolerancias dimensionales desconocidas de trabajo. Ngoi et al.^{40 41}, llevaron a cabo la investigación en los problemas de tolerancias amontonadas. Varios modelos han sido propuestos para tratar las dimensiones, las tolerancias dimensionales, y las tolerancias geométricas. Tseng y Kung⁴², presentaron un método para evaluar la localización alternativa de tolerancias para secuencias de múltiples máquinas, cuando las tolerancias dimensionales y geométricas son incluidas.

A pesar de los logros en las tolerancias dimensionales, los métodos de localización óptimos para las tolerancias geométricas y los métodos integrados de tolerancias geométricas y dimensionales es un tema en desarrollo, teniendo en cuenta la gran cantidad de variables que pueden incluirse en el análisis y la diversidad de técnicas que pueden utilizarse para abordar el problema, por lo tanto aún no es un tema agotado dentro del estado del arte de la técnica, lo cual se puede evidenciar a partir de la gran cantidad de artículos científicos presentados en los últimos 10 años, sin que se presente a un decrecimiento en la productividad académica alrededor del mismo.

Basado en la búsqueda de He y Gibson, Ngoi y Tan, Ngoi y Soew, y Tseng y Kung, este trabajo nos ayuda a encontrar un estado del arte acerca de hasta dónde se ha llegado con los procesos de tolerancias óptimos para reducir el costo, optimizando desde el diseño, pero teniendo en cuenta la manufactura, las diferentes máquinas que se utilizan y todas sus tolerancias.

3. JUSTIFICACIÓN

En el desarrollo de proyectos de investigación el estado del arte sintetiza y organiza los resultados dentro de un marco conceptual y de tiempo definidos por el autor en una forma novedosa que integra y agrega claridad al campo específico en el que se está trabajando. En la concepción de un proceso de

³⁹ NGOI, Bka. SOEW, Ms. Tolerancing control for dimensional and geometrical specifications. 1996. p. 34–42.

⁴⁰ NGOI, Bka. AGARWAL, M. CHUA, Cs. The generic capsule approach to tolerance stack analysis. 1998. p. 3273–3293.

⁴¹ NGOI, Bka. LIM, Bh. ONG, As. The Nexus method for evaluating geometric dimensioning and tolerancing problems with position callout. 2000. p. 235–241.

⁴² TSENG, Y. KUNG, Hw Evaluation of alternative tolerance allocation for multiple machining sequences with geometric tolerances. 1999. p. 3883–3900.

investigación cada vez es más importante la sistematización y organización de toda la información a la que se puede recurrir para encontrar una solución al problema planteado, y para eso la construcción de un estado del arte en una etapa preliminar otorga ventajas competitivas como el conocimiento general del área, la clasificación de la literatura existente, el desarrollo de una perspectiva y la evaluación previa de las principales tendencias.

El planteamiento de un Estado del arte de la síntesis de tolerancias en ensambles mecánicos bajo incertidumbre contribuirá a la investigación, teniendo en cuenta que permitirá identificar claramente los procesos de conceptualización en los temas involucrados (Procedimiento de asignación de tolerancias, fuentes de error asociadas a las tolerancias funcionales y de manufactura, funciones de costo de manufactura y pérdida de calidad, cuantificación de incertidumbre en diseño óptimo, modelamiento de las tolerancias como incertidumbres, y algoritmos de optimización utilizados en el diseño óptimo), reconociendo la importancia que tienen y dotando de herramientas necesarias al investigador principal en la búsqueda de la mejor solución a la problemática planteada en la propuesta doctoral, reconociendo de antemano que en ninguna de las aproximaciones que se han hecho hasta el momento alrededor de estos temas se ha elaborado un estado del arte.

En el marco del análisis de síntesis de tolerancias, se hace importante iniciar las tareas de definición de tolerancias en etapas tempranas de la conceptualización del diseño dado que ayudaría significativamente en la restricción de la especificación y en un control pleno con respecto tanto a la definición como a la asignación de tolerancias de fabricación. Sin embargo si no se organiza e identifica la información necesaria a través de una metodología documental, proceso hecho de una manera incompleta en la construcción de diferentes artículos e informes valorados, el resultado de la investigación puede estar sesgado por la falta de apropiación u omisión del conocimiento existente en la materia.

En conclusión, un proceso de generación de conocimiento que incorpora herramientas actuales de investigación documental tiene ganancias en cuanto a la robustez de sus resultados y la confiabilidad con respecto al desempeño, lo cual lo sitúa en un punto de vanguardia. La construcción del estado del arte quedara sujeta entonces al proceso posterior en la elaboración de la investigación puesto que sentara las bases que ayudaran en la toma de decisiones al momento de establecer la ruta a seguir.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo General

Desarrollar el Estado del arte de la síntesis óptima de tolerancias en ensambles mecánicos bajo técnicas UMDO.

4.2 Objetivos Específicos

- Describir el procedimiento de asignación de las tolerancias dimensionales y geométricas.
- Identificar cuáles son las fuentes de error asociadas a las tolerancias funcionales y de manufactura.
- Identificar los diversos modelos de funciones de costo de manufactura y pérdida de calidad.
- Identificar cómo puede realizarse el modelamiento de las tolerancias como incertidumbres.
- Identificar los algoritmos de optimización utilizados en el diseño óptimo.
- Identificar posibles ensambles mecánicos a trabajar.

5. MARCO TEÓRICO

5.1 Investigación Documental

La investigación documental es la presentación de un escrito formal que sigue una metodología reconocida, consiste primordialmente en la presentación selectiva de lo que expertos ya han dicho o escrito sobre un tema determinado. Además, puede presentar la posible conexión de ideas entre varios autores y las ideas del investigador. Su preparación requiere que éste reúna, interprete, evalúe y reporte datos e ideas en forma imparcial, honesta y clara.

La investigación documental se caracteriza por el empleo predominante de fuentes escritas, generalmente se le asocia con la investigación archivística y bibliográfica. Sin embargo el concepto de documento es más amplio y cubre por ejemplo: micropelículas, microfichas, diapositivas, planos, discos, cintas y películas. Como en el proceso de investigación documental se dispone, esencialmente, de documentos, que son el resultado de otras investigaciones, de reflexiones de teóricos, lo cual representa la base teórica del área objeto de

investigación, el conocimiento se construye a partir de su lectura, análisis, reflexión e interpretación de dichos documentos.⁴³

En dicho proceso se vive la lectura y la escritura como procesos de construcción de significados. En cuanto a la lectura, se tiene la posibilidad de elegir los textos que se desean leer y aquéllos que son pertinentes y significativos para las investigaciones. No se persigue un significado único; se busca la construcción de la propia comprensión del texto, la explicación de la realidad a la que se hace referencia. La lectura es, en este sentido, un instrumento de descubrimiento, de investigación, de esparcimiento y de aprendizaje; por lo tanto, es fundamental para el desarrollo de los proyectos.

La escritura, al igual que la lectura, está presente permanentemente en el desarrollo de los proyectos. En este proceso, escribir es construir significados, es compartir, por escrito, el producto de la indagación, las reflexiones, observaciones, vivencias, lecturas, entre otras. Se escribe con propósitos claros y para una audiencia real. Por lo general, se escribe para compartir con otros, los estudiantes que consultarán en la biblioteca el resultado de sus indagaciones, los pares o la comunidad académica en general.⁴⁴

La investigación documental no es un culto al plagio; no es una copia textual, una yuxtaposición de párrafos. Por el contrario, requiere un gran nivel de creatividad y originalidad, además de una gran capacidad de análisis, síntesis y reflexión. Aunque fueron otros quienes produjeron inicialmente gran parte de la información, el investigador documental vive una experiencia de investigación similar a las que vivieron los otros: busca información, descubre la naturaleza del problema, establece conexiones, analiza, sintetiza e interpreta, para apropiarse de la información y convertirla en conocimiento. Reconstruye de manera diferente y original la información que es producto de muchos otros. Es, en ese sentido, un ser creador, en sus relaciones, estructura, estilo, tono, tratamiento, variedad.

En vista de esto, por razones éticas, didáctica, de investigación y de rigurosidad científica, es recomendable hacer referencia al autor de la idea que se esté citando. Esto podría ayudar, guiar al lector (incluyendo al mismo

⁴³ MONTEMAYOR, María Velia, GARCIA, María Consuelo, GARZA, Yolanda. Guía para la Investigación Documental. Ed. Trillas. México. 2002.

⁴⁴ MORALES, Oscar Alberto. Fundamentos de la investigación documental y la monografía. Universidad de los Andes. Venezuela. 2008.

escritor en su rol de lector) a profundizar en determinado aspecto o idea del tema, a recurrir a la fuente original, o sencillamente, a identificar determinada idea con su autor.

En síntesis, para el desarrollo de la investigación documental, se requiere, como condición necesaria, un tema seleccionado y delimitado, justificado, producto de la documentación o de la reflexión personal. Igualmente se requiere plantear un marco de referencia preliminar que permita orientar la recolección de la información y la redacción posterior de la monografía o informe de la investigación. Para el desarrollo, propiamente dicho, es imprescindible ser preciso, claro y sintético, lo cual puede permitir abordar sólo lo contemplado, lo pertinente, lo que responda a los propósitos de la investigación.

Finalmente, para la redacción se requiere agotar varias versiones, experimentar, totalmente, el proceso de escritura. A través del proceso, con las acertadas observaciones se podría lograr un producto mejor estructurado, más coherente y, en consecuencia, más comprensible.

Una vez desarrollado el tema de la investigación, se puede proceder a definir y describir el documento, como instrumento por medio del cual se dan a conocer los resultados de la investigación.

5.2 Investigación Informativa (expositiva)

Este escrito es básicamente una panorámica acerca de la información relevante de diversas fuentes confiables sobre un tema específico, sin tratar de aprobar u objetar alguna idea o postura. Toda la información presentada se basa en lo que se ha encontrado en las fuentes. La contribución del investigador radica en analizar y seleccionar de esta información aquello que es relevante para su investigación.

Por último, el investigador necesita organizar la información para cubrir todo el tema, sintetizar las ideas y después presentarlas en un reporte final que, a la vez, sea fluido y esté claramente escrito.⁴⁵

⁴⁵ MONTEMAYOR, María Velia, GARCIA, María Consuelo, GARZA, Yolanda. Guía para la Investigación Documental. Ed. Trillas. México. 2002.

5.3 Los recursos informativos, las fuentes de información⁴⁶

Las Fuentes de información son las obras de consulta y su principal objetivo es ofrecer información básica sobre tópicos específicos, o remitirnos a otras fuentes de información, o ambas cosas. Las Fuentes de información se pueden clasificar en: generales o terciarias, secundarias y primarias.

1. **Las fuentes terciarias o generales.** Son muy útiles cuando no se tiene una idea clara de las fuentes para encontrar información; se utilizan como punto de partida ya que proporcionan pistas para localizar referencias de naturaleza general sobre un tema, la información que proporcionan es: una introducción general de áreas en las que se tiene interés y dan pistas respecto a los sitios donde se puede encontrar información útil. Son documentos que compilan nombres y títulos de revistas y otras publicaciones periódicas; nombres de boletines, simposios, conferencias, sitios Web, empresas, asociaciones industriales y de diversos servicios, entre ellos, directorios de empresas de recursos humanos, mercadotecnia, opinión pública, catálogos de libros que contienen referencias y datos bibliográficos, nombres de instituciones de servicio nacionales e internacionales, dependencias de gobierno.
2. **Las fuentes de información secundarias.** Procesan información de primera mano. Son artículos de reseña, antologías de lecturas, síntesis de trabajos originales, de libros, enciclopedias, tesis, compilaciones, resúmenes y listados de referencias publicadas en área de conocimiento específico.
3. **Las fuentes de información primaria.** Constituyen el objetivo propio de la investigación documental, o de la revisión de la literatura en cualquier tipo de investigación. Proporcionan datos de primera mano; son documentos originales escritos por los propios autores, por ejemplo: libros, antologías, artículos de publicaciones periódicas, monografías, tesis, disertaciones, documentos oficiales, conferencias o seminarios, testimonios de expertos, películas, documentales, videocintas, foros, páginas en Internet, artículos científicos.

⁴⁶ GARDUÑO LOPEZ, María Eugenia, HERNADEZ, Neima Alicia, MARTINEZ Wilebardo. Antología de Técnicas de investigación documental. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. 2004.

5.5 Reunión de la información y evaluación de las fuentes⁴⁷

Estas sugerencias sirven como guía para el proceso de reunir y evaluar información. El investigador puede hacer lo siguiente al iniciar la búsqueda:

- Buscar en los catálogos y en los bancos de información en línea como Science Direct, Engineering Village, Taylor and Francis, Springerlink, ASME Transactions, etc., para encontrar libros, artículos y normas.
- Leer el índice, las fuentes citadas o las referencias bibliográficas en la APA, el ICONTEC y el glosario de los libros relacionados con el tema.
- Verificar que el autor, la casa editora y el tipo de fuente son confiables, y que material haya sido evaluado y aceptado por expertos en su especialidad.
- Comprobar la confiabilidad y precisión de la información, comparando el contenido de varias fuentes y considerando factores como el prestigio académico de autores, casas editoras y editores de libros y artículos, en revistas especializadas. Con la información obtenida mediante un protocolo en la Internet, el investigador debe ser extremadamente cuidadoso y estar consciente de que no siempre es posible verificar la confiabilidad de la información en línea.
- Asegurarse, en el caso de un artículo, que no haya parcialidad. Algunas fuentes están dirigidas a grupos de interés especial que pueden tener un punto de vista parcial sobre un tema.
- Leer los artículos para determinar si su contenido está relacionado con el aspecto específico de la investigación y si la fuente provee información general o especializada sobre él. Algunos artículos pueden proporcionar listas de referencia de otras fuentes disponibles.

6. METODOLOGÍA

El desarrollo del proyecto asume la metodología de investigación y cumplirá con las siguientes etapas⁴⁸:

1. Acopio de bibliografía básica sobre el tema: Se debe realizar una búsqueda extensa de bibliografía y referencias sobre las temáticas que permitan

⁴⁷ MONTEMAYOR, María Velia, GARCIA, María Consuelo, GARZA, Yolanda. Guía para la Investigación Documental. Ed. Trillas. México. 2002.

⁴⁸ CÁZARES HERNANDEZ, Laura *et al*, Técnicas actuales de investigación documental. México D.F.: Editorial Trillas, 1980. pp. 191.

abarcando de manera amplia y suficiente los temas de interés para el desarrollo del trabajo, para ello se va a utilizar un software que facilitará la gestión de información obtenida en esta etapa de búsqueda. En nuestro caso utilizaremos un gestor de información bibliográfica local y en red como pueden ser Mendeley y/o Zotero.

2. **Elaboración de bibliografía básica dentro del software:** Se establece la bibliografía de los artículos, o libros publicados, se deben registrar con ayuda del software, para tener a mano los diferentes datos y poderlos localizar en el momento oportuno. En esta etapa se realiza la identificación clara y precisa de cada fuente a partir de datos incluidos en la publicación o en la base de datos de donde proviene. Para ello los programas tienen herramientas que permiten extraer los datos de la publicación desde el archivo o desde la página web que la presenta, generar los enlaces al archivo y actualizar la colección a la que se asigna la publicación.
3. **Lectura rápida del material:** Se hace una lectura de la bibliografía y se escogen los archivos más importantes, para ubicar ideas, reconocer el terreno e identificar los argumentos de mayor calidad.
4. **Lectura minuciosa de la bibliografía seleccionada:** Esta lectura implica reflexión e interpretación, es muy importante ya que nos arrojan las ideas más relevantes del material bibliográfico, mediante el software se subrayan las ideas principales y categorizamos la información importante. Además este tipo de herramientas permiten hacer una catalogación de la información a partir de colecciones personalizadas y se permite adicionalmente utilizar filtros de autor, año, tipo de publicación, temas, etc.
5. **Elaboración de notas y anotaciones en el software:** Éstas permiten el fácil manejo de datos e ideas, se redactan las reflexiones, los comentarios o análisis personales de los investigadores. En el software se puede realizar la gestión de anotaciones y revisiones personales sobre cada fuente, facilitando así la realización de fichas bibliográficas, bibliografías anotadas, revisión por categorías de análisis, etc. El proceso debe tener en cuenta la alternación de la idea ajena citada combinada con los comentarios personales para estar más cerca de la elaboración del trabajo final.
6. **Clasificación de los archivos:** Tiene como objetivos los siguientes.
 - Identificar, en forma gráfica, y analítica, las partes principales y subordinadas del problema, su importancia relativa, y las relaciones entre ellas.

- Detectar defectos de relación, proporción, omisión, exceso o unidad.
 - Facilitar el inventario de la información recolectada.
 - Orientar la recopilación de la información faltante.
 - Facilitar la clasificación y codificación del material recopilado.
 - Establecer la organización, encabezamientos y secuencias probables del escrito final, como guía para la redacción [...].
 - Suministrar los elementos necesarios para formular la tabla de contenido y/o índice de estudio.
7. Selección de los archivos más relevantes: Se van a archivar los artículos más importantes, los de más claridad de acuerdo a una categorización por temáticas de análisis planteadas. El software permite utilizar filtros de autor, año, tipo de publicación, temas, etc.
 8. Organización de las notas y revisión de la clasificación de los archivos: Es necesario asimilar los datos renovadores de una nueva visión de conjunto, revisar el plan inicial y si es necesario elaborar una nueva clasificación, a partir de éste habrá que reorganizar, suprimir o adquirir nuevo material. La organización de las notas y anotaciones siempre tendrá como objetivo la valoración del material recopilado, la localización de posibles lagunas u omisiones, la detección de ideas transcritas y la posibilidad de revisar el esquema de trabajo para mayor coherencia.
 9. Organización definitiva de la información: Con el material que se tiene se realiza una organización de la información para saber si faltan datos esenciales, se hace de acuerdo con el último esquema de trabajo, ya cuando esté organizada se puede enumerar por categorías para no alterar cualquier orden preestablecido.
 10. Redacción del trabajo (Borrador): La última etapa del proceso consiste en comunicar los resultados mediante un texto escrito, de esta manera lo que el investigador realiza puede servir para otras personas. La redacción del borrador constituye la primera exposición organizada de los hechos e ideas que presentará el escrito definitivo, tanto la introducción como el índice se preparan al final del trabajo, conviene dejarlo un buen tiempo sin leer ya que después se puede releer con cabeza fría y con autocrítica para encontrar organización y consistencia.

En estas etapa, así como en la siguiente, el software puede ser utilizado para llevar a cabo la generación automática de citas bibliográficas y elaboración de bibliografías completas a partir de las fuentes y realizar además conexión con procesadores de texto para generación de citas y

referencias y bibliografía relacionada dentro del mismo programa, algunos de estos pueden ser Word, Open office, LaTeX, etc.

11. Redacción del trabajo (Redacción final): Una vez terminado el borrador procedemos a la redacción final. El objetivo es claro, comunicar con la mayor claridad y coherencia posibles, los resultados, comprobaciones o reflexiones logrados a través del proceso de investigación.

7. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| FASE | ACTIVIDAD | DURACIÓN (meses) | | | | | |
|--|---|------------------|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Fase Inicial | Búsqueda de información relacionada con el tema | | | | | | |
| Fase de Sistematización | Inclusión de la información recolectada dentro del software Mendeley. | | | | | | |
| | Elaboración de la bibliografía básica dentro del software | | | | | | |
| | Categorización de los archivos en el software | | | | | | |
| Fase de Lectura | Lectura rápida del material incluido en el software | | | | | | |
| | Lectura minuciosa del material | | | | | | |
| Fase de análisis | Identificación de los principales conceptos a incluir en el estado del arte (Notas y anotaciones) | | | | | | |
| | Clasificación de los archivos incluidos en el software | | | | | | |
| | Selección de los archivos más importantes | | | | | | |
| Fase de organización de la información | Organización de las notas y anotaciones | | | | | | |
| | Revisión de la clasificación de los archivos | | | | | | |
| | Organización definitiva de la información | | | | | | |
| | Establecimiento de los encabezamientos y secuencias probables del escrito final | | | | | | |
| Fase final | Redacción del borrador del trabajo | | | | | | |
| | Redacción final del trabajo | | | | | | |

Tabla 1. Cronograma de actividades

8. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

| Presupuesto General Proyecto | | | |
|------------------------------|--------------------------------|----------------|--------------------------|
| Duración estimada en meses | | 6 | |
| Semanas | | 26 | |
| Descripción | | Costo asociado | Fuentes de financiación |
| Recurso Humano Asociado | | \$ 18.841.680 | |
| 2 | Autores del proyecto | \$ 14.161.680 | Personal |
| 1 | Director o tutor (interno) | \$ 4.680.000 | Institucional |
| 0 | Director o tutor (externo) | \$ - | |
| 0 | Profesor (responsable interno) | \$ - | |
| 0 | Apoyo técnico | \$ - | |
| 0 | Apoyo administrativo | \$ - | |
| 0 | Asesor | \$ - | |
| Software o equipo de apoyo | | \$ 2.990.400 | Presupuesto del proyecto |
| Gastos Generales | | \$ 1.002.500 | Presupuesto del proyecto |
| Condiciones específicas | | \$ - | Empresarial |
| Subtotal | | \$ 22.834.580 | |
| 2% | Imprevistos | \$ 456.692 | |
| Total presupuestado | | \$ 23.291.272 | |

Tabla 2. Presupuesto General del proyecto

| Descripción | Cantidad de personas | Dedicación semanal | Valor Hora | Costo personal |
|--------------------------------|----------------------|--------------------|------------|----------------|
| | Número | Horas | Pesos | Pesos |
| Autores del proyecto | 2 | 10 | \$ 18.000 | \$ 9.360.000 |
| Director o tutor (interno) | 1 | 3 | \$ 60.000 | \$ 4.680.000 |
| Director o tutor (externo) | | | | \$ 0 |
| Profesor (responsable interno) | | | | \$ 0 |
| Apoyo técnico | | | | \$ 0 |
| Apoyo administrativo | | | | \$ 0 |
| Asesor | | | | \$ 0 |
| | | | | \$ 14.040.000 |
| Carga Prestacional | | | 51,30% | \$ 7.202.520 |
| | | | | \$ 21.242.520 |

Tabla 3. Recursos humanos.

| Generales | Unidad de medida | Cantidad | Valor unitario | Total |
|---|------------------|----------|----------------|--------------|
| Fotocopias | Hoja | 500 | \$ 50 | \$ 25.000 |
| Libros | Libros | 12 | \$ 60.000 | \$ 720.000 |
| Impresión documentos | Hoja | 300 | \$ 100 | \$ 30.000 |
| Suministros de oficina | kW/h | 650 | \$ 350 | \$ 227.500 |
| Gastos Generales asociados al proyecto | | | | \$ 1.002.500 |
| Software | Costo referencia | Cantidad | Costo Uso | Total |
| Digitación 1 | \$ 1.800 | 84 | \$ 151.200 | \$ 907.200 |
| Digitación 2 | \$ 1.800 | 84 | \$ 151.200 | \$ 907.200 |
| Computador | \$ 1.500 | 160 | \$ 240.000 | \$ 240.000 |
| Internet | \$ 867 | 180 | \$ 156.000 | \$ 936.000 |
| Costos de licencias, conexión y computador | | | | \$ 2.990.400 |

Tabla 4. Recursos de Materiales.

BIBLIOGRAFÍA

CÁRDENAS S., Jorge Hernán. *Formación de Investigadores en Colombia y algunas recomendaciones de Política*. Seminario Internacional sobre Políticas de Ciencia, Tecnología e Innovación. Bogotá, Colombia. 2008.

CÁZARES HERNANDEZ, Laura *et al*, Técnicas actuales de investigación documental. México D.F.: Editorial Trillas, 1980. 191p

CHASE, Ken. Product Development and Design. En: Basic tools for tolerance analysis of mechanical assemblies. Provo, Utah: Brigham Young University, 2006. p. 7.1-7.13

CHEN, Y. HUANG, Meifa. YAO, J. ZHONG, Yanru. Optimal concurrent tolerance based on the grey optimal approach. 2003. p. 112–117

CIENCIA Y TECNOLOGÍA PARA TODOS. Recuperado el 15 de abril de 2012, de <http://201.234.78.173:8083/cienciawar/BusquedaGrupoXArea.do;jsessionid=E67B2341AD12AF5F02B43FBD5BBC7D31>.

COLCIENCIAS. Grupos de Investigación, fortalecimiento y consolidación. Recuperado el 15 de abril de 2012, de http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/grupos-de-investigaci-n-fortalecimiento-y-consolidaci-n.

DE GREIFF ACEVEDO, Alexis. *Política Científica y Formación Doctoral en Colombia. Resultados y Retos*. Santiago de Cali, Colombia. 2007.

DISING: Grupo de investigación en Ingeniería de Diseño. Registrado en Colciencias en Junio de 2005 e institucionalizado en la Universidad Distrital en Junio de 2007. Recuperado el 22 de abril de 2012, de <http://201.234.78.173:8080/gruplac/jsp/visualiza/visualizagr.jsp?nro=00000000002244>.

FORMACIÓN DE INVESTIGADORES. Recuperado el 15 de abril de 2012, de http://www.colciencias.gov.co/programa_estrategia/formaci-n-de-investigadores.

GAO, Y. HUANG, Meifa. Optimal process tolerance balancing based on process capabilities. 2003. p. 501–507.

GARDUÑO LOPEZ, María Eugenia, HERNADEZ, Neima Alicia, MARTINEZ Wilebarbo. Antología de Técnicas de investigación documental. Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. México. 2004.

HE, J y GIBSON, Pr. Computer-aided geometrical dimensioning and tolerancing for process-operation planning and quality control. 1992. p. 11–20

HUANG Meifa, GAO Ys. A discrete optimal tolerancing approach based on the process capabilities. J. Huazhong University Science Technology. 2002. p. 19–21

HUANG, Meifa y ZHONG, Yanru. Dimensional and geometrical tolerance balancing in concurrent design. Springer-Verlag London Limited. China. 2006. p. 724-735

HUANG, Meifa, XU, Z.G., GAO, Ys, LI, Zongbin. Optimal assembly tolerance allocation using hierarchical hypergraphs. 17th International Conference on Computer-aided Production Engineering (CAPE 2001). Professional Engineering Publishing Limited London and Bury St Edmunds. 2001. UK, p. 411–414

HUANG, Meifa. GAO, Y. XU, Z.G., LI Z. Composite planar tolerance allocation with dimensional and geometric specifications. 2002. p. 341–347

HUANG, Meifa. ZHONG, Y. Optimized sequential design of two-dimensional tolerances. 2007. p. 579–593

HUANG, Y. SHIAU, C. Optimal tolerance allocation for a sliding vane compressor. 2006. p.98–107

KRISHNA, G. MALLIKARJUNA RAO, K. Simultaneous optimal selection of design and manufacturing tolerances with different stack-up conditions using scatter search. 2006. p. 328–333. Doi: 10.1007/s00170-005-0059-0

MONTEMAYOR, María Velia, GARCIA, María Consuelo, GARZA, Yolanda. Guía para la Investigación Documental. Ed. Trillas. México. 2002.

MORALES, Oscar Alberto. Fundamentos de la investigación documental y la monografía. Universidad de los Andes. Venezuela. 2008.

NGOI Bka, ONG, C. A tolerancing optimization method for product design. 1997. p. 290–299

NGOI, Bka. AGARWAL, M. CHUA, Cs. The generic capsule approach to tolerance stack analysis. 1998. p. 3273–3293

NGOI, Bka. LIM, B. ONG, A. The Nexus method for evaluating geometric dimensioning and tolerancing problems with position callout. 2000. p. 235–241

NGOI, Bka. SOEW, Ms. Tolerancing control for dimensional and geometrical specifications. 1996. p. 34–42

NGOI, Bka. & TAN, Ck Geometrics in computer-aided tolerancing charting. 1995. p. 835–868

PRABHAHARAN, G. ASOKAN, P. RAJENDRAN, S. Sensitivity-based conceptual design and tolerance allocation using the continuous ants' colony algorithm (CACO). 2005. p. 516–526

PRABHAHARAN, G. ASOKAN, P. RAMESH, P. RAJENDRAN, S. Genetic algorithm-based optimal tolerance allocation using least-cost model. 2004. p.647–660

RUIZ ROSAS, Víctor E. *Síntesis óptima de tolerancias de fabricación de ensambles móviles desde etapas de diseño conceptual*. Universidad Nacional de Colombia, 2012.

RUIZ ROSAS, Víctor. CAVANZO NIZO, Gloria Andrea. GUEVARA BOLAÑOS, Juan Carlos. *Diseño óptimo de semirremolques para vehículos pesados apoyado en una plataforma colaborativa*. (pp.45). Bogotá, Colombia. 2009.

SINGH, Pradeep. JAIN, Pramod. JAIN, Satish. Optimal tolerance design of mechanical assemblies for economical manufacturing in the presence of alternative machines—a genetic algorithm-based hybrid methodology. 2008. Proceeding Inst. Mechanical Engineers p. 591–604

SINGH, Pradeep. JAIN, SC. JAIN Pramod. A GA based solution to optimum tolerance synthesis of mechanical assemblies with alternate manufacturing processes: focus on complex tolerancing problems. 2004. p. 5185–5215

SINGH, Pradeep. JAIN, SC. JAIN Pramod. Tolerance allocation with alternative manufacturing processes-suitability of genetic algorithm. 2003. Proceeding Inst Mechanical Engineers. p. 22– 34

TSENG, Y. KUNG, Hw Evaluation of alternative tolerance allocation for multiple machining sequences with geometric tolerances. 1999. p. 3883–3900

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Campos Estratégicos de Desarrollo institucional. *Plan Estratégico de Desarrollo 2007-2016*. 2007. Bogotá, Colombia.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Centro de Investigaciones y Desarrollo Científico. Recuperado el 15 de abril de 2012, de <http://udistrital.edu.co/#/investigacion.php>.

UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS. Visión Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Recuperado el 22 de abril de 2012, de <http://udistrital.edu.co/#/universidad.php>.

YE, B. SALUSTRI, F. Simultaneous tolerance synthesis for manufacturing and quality. 2003. *Res Eng Des* 14(2). p. 98–106

ZHANG G. Simultaneous tolerancing for design and manufacturing. 1996. p. 3361–3382