



## ACCESIBILIDAD A LAS CELDAS DE MANUFACTURA FLEXIBLE AUTOMATIZADAS A TRAVÉS DE LA RED NACIONAL RENATA Y RED INTERNACIONAL RED CLARA PARA SUPERVISAR Y CONTROLAR SU ESTADO Y FUNCIONAMIENTO

### **Por:**

*Javier Duque, Javier Corredor, Margarita Pérez, Miguel Mesa, Diego Amaya, Fabián Camargo.*

**Tutores:** *Profesor U. Nacional. - Ernesto Córdoba Nieto  
Profesor U. Andes - Pablo Figueroa  
Profesor. U Autónoma - Jesús David Cardona  
Profesor ÍTEMS - Miguel Ramírez*

*Grupo de investigación en Nuevas Tecnologías en Diseño y manufactura –  
Automatización (DIMA UN) – Universidad Nacional de Colombia*

*Grupo de informática gráfica y procesamiento de imágenes (IMAGINE) Universidad de  
los Andes:*

*Grupo de Investigación en Ingeniería de Software (GIISOFT)- Grupo de Investigación  
en Tecnologías para la Manufactura (GITEM) – Universidad Autónoma de Occidente*

*Cátedra De Investigación en Mecatrónica: Desarrollo, Manufactura e Integración De  
Máquinas Reconfigurables e Inteligentes – ÍTEMS (México)*

*Empresa Robótica ID.*

### **RESUMEN**

*El proyecto se desarrolla con la participación interinstitucional de la Universidad Nacional de Colombia a cargo del profesor Ernesto Córdoba, la Universidad de los Andes de Colombia - profesor Pablo Figueroa y Fernando de la Rosa, la Universidad Autónoma de Occidente - profesor Jesús David Cardona y el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM) –de México profesor Miguel Ramírez y con el apoyo de la empresa Robótica ID Ing. Luis Becerra, Ing. Santiago Caro.*

*El proyecto busca dar continuidad al estudio que ha venido desarrollando el Grupo de investigación en Nuevas Tecnologías en Diseño y manufactura – Automatización DIMA UN de la Universidad Nacional de Colombia por medio de aplicativos en realidad virtual, telecontrol y supervisión por Internet, y enriquecer esta experiencia con el desarrollo de herramientas para el modelado de maquinas, simulación experimental y aplicaciones en realidad virtual, con el aporte y experiencia en este campo de los grupos de trabajo IMAGINE de la Universidad de los Andes y GIISOFT - GITEM (Grupo de Investigación en Ingeniería de Software - Grupo de Investigación en Tecnologías para la Manufactura) de la Universidad Autónoma de Occidente, también con el desarrollo de software que permita la accesibilidad de la Celda de Manufactura Flexible del Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia (CMF-Unal) en la plataforma RENATA (Red Nacional Académica de Alta Tecnología de Colombia), con el apoyo de la empresa ROBOTICA ID, en la instrumentación para la accesibilidad de Celda de Manufactura Flexible de la Universidad Nacional en RENATA.*

*También se planea generar una comunicación entre las celdas de manufactura del Laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia y la del Laboratorio de Automatización .de Sistemas de Manufactura del ITESM, para realizar pruebas experimentales en manufactura automatizada de manera remota a través de la red Internacional CLARA.*

Para el proyecto se plantea el desarrollo de dos plataformas de visualización, uno en el ambiente CAVE que la Universidad de los Andes tendrá disponible en su nuevo laboratorio de visualización inmersiva, y otro disponible por la web. Ambos permitirán visualizar y simular la cinemática de al menos dos máquinas de la celda de manufactura de la Universidad Nacional de Colombia, así como también visualizar los datos adquiridos de las máquinas en tiempo real, permitiendo su supervisión remota.

Los grupos de investigación GIISOFT - GITEM de la Universidad Autónoma de Occidente, aportan en el desarrollo de una aplicación disponible en la Web y en las redes de alta velocidad de los integrantes de éste proyecto (Renata y CLARA) para la visualización y simulación cinemática de algunas máquinas de la celda de manufactura de la Universidad Nacional de Colombia.

Se busca compartir los resultados de los trabajos desarrollados por los grupos de investigación participantes para brindar mayor accesibilidad de usuarios en la educación en automatización industrial, e igualmente compartir la experiencia e investigaciones sobre la plataforma RENATA entre las instituciones educativas miembros de la red para nuevos desarrollos, procurar nuevas tecnologías, procesos y proyectos.

### **PALABRAS CLAVE**

Teleoperación de equipos  
Supervisión remota  
Educación Virtual  
Laboratorio Virtual  
Realidad Virtual

### **ARQUITECTURA DE LA PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN**

El proyecto incluye tres grandes módulos: telecontrol, tele-supervisión y simulación/visualización 3D, bajo responsabilidad de la Universidad de los Andes, Universidad Autónoma de Occidente, ÍTEMS (México), Robótica ID y la Universidad Nacional de Colombia. En este momento se quiere compartir lo que se ha avanzado en el tema del telecontrol y tele-supervisión a cargo de la Universidad Nacional. En el gráfico 1 se referencia el esquema de conectividad y comunicación del proyecto, las primeras a nivel internacional la Red Geant en Europa, la Red Clara a nivel de Latinoamérica, la red Renata en Colombia, a través de las Redes Académicas Regionales (Rares) y en la Red Rumbo en Bogotá, donde se encuentra conectada la Universidad Nacional, por medio del servidor web apoyado por la cámara IP, el servidor que permite controlar y supervisar los equipos de laboratorio de Mecatrónica.

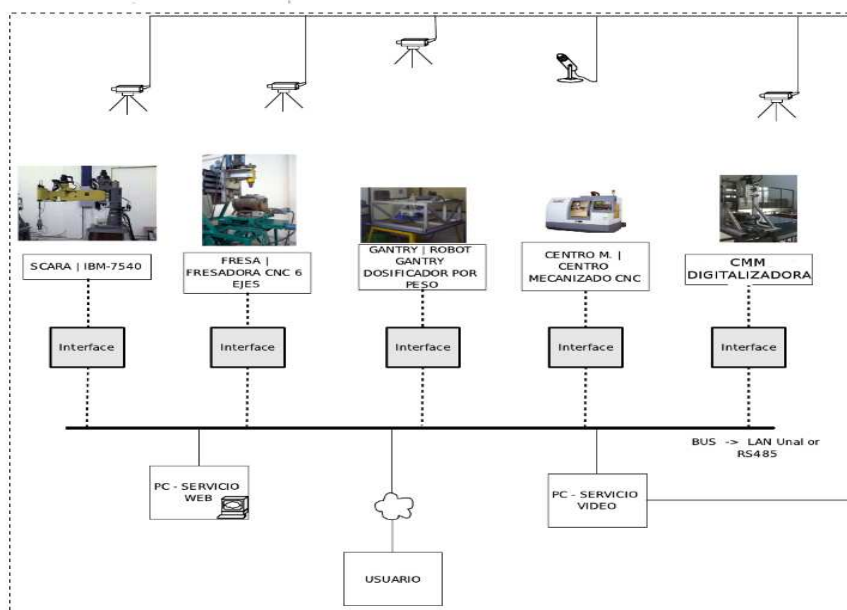
**Gráfico 1: Esquema de conectividad**



## Supervisión y Telecontrol de Manufactura UN.

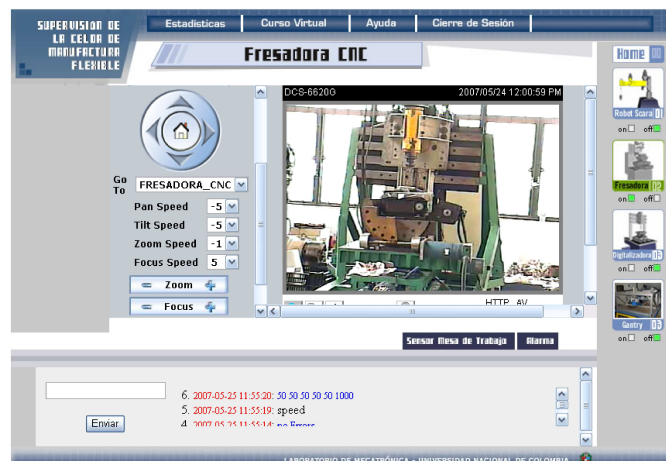
El gráfico 2 muestra el diagrama de conexión general del sistema de Supervisión y Teleoperación de la celda de manufactura flexible del laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá. Se busca la implementación de una arquitectura de conexión por medio de una interface, en una primera etapa se realizará por medio de un PC conectado a la red LAN de la universidad y por medio de una conexión punto a punto RS232 con la máquina, en una segunda etapa se planea desarrollar un instrumento electrónico como interface para no utilizar un PC dedicado. El servicio web se va a prestar por medio de un equipo dedicado, de igual forma que el servicio de video. El usuario se conecta a través de la red RENATA o la red Internet sin distinción alguna.

**Gráfico 2: Sistema de Supervisión y Teleoperación**



En el gráfico 3 se muestra el panel de monitoreo, donde se tiene el acceso al vídeo en vivo de lo que está ocurriendo en la celda de manufactura y se puede enviar y recibir información de la máquina asociada en esta figura la Fresadora CNC multiejes.

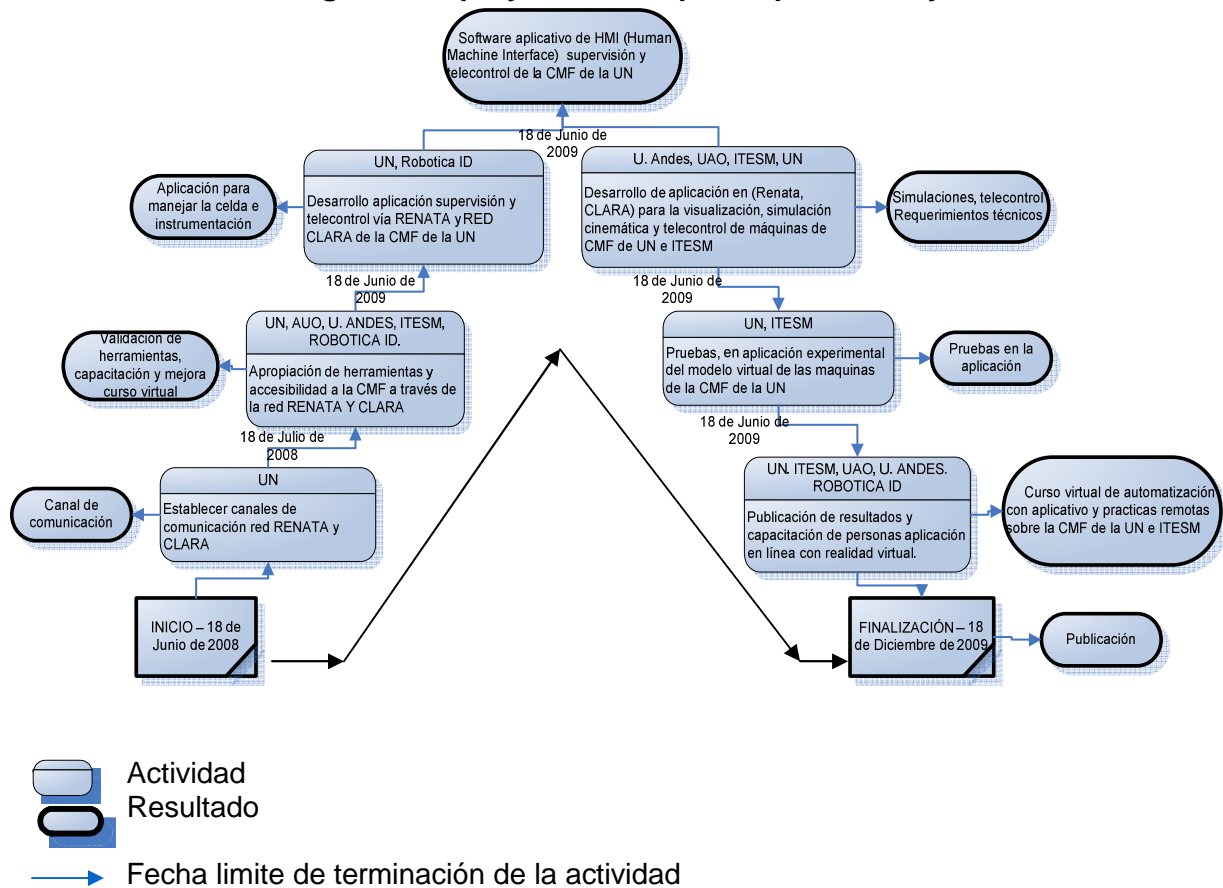
**Gráfico 3: Interfaz de usuario de la aplicación. Se observa el panel de monitoreo de la fresadora CNC multiejes.**



## PLANEACIÓN Y EJECUCIÓN DEL PROYECTO

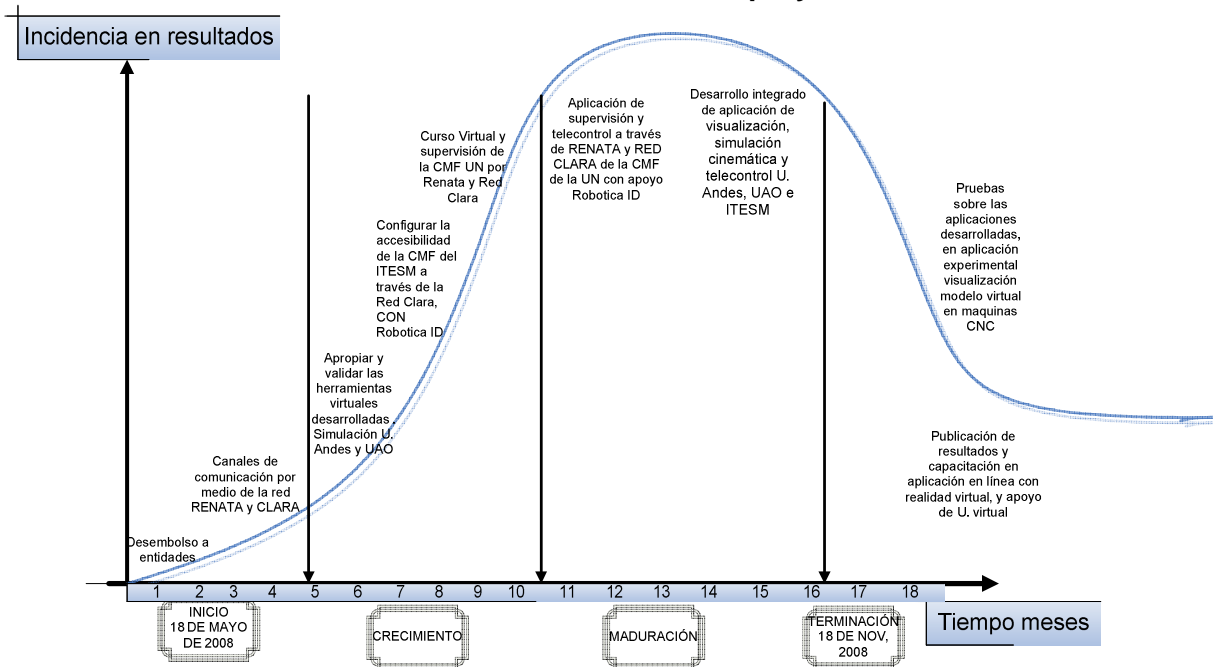
El proyecto se está realizando por cada una de las entidades y para esto se definieron las actividades principales en un horizonte de duración global de 18 meses. Inicio el 18 de junio de 2008 fecha en la cual se realizó el desembolso a la entidad ejecutora, según contrato de unión temporal. En la gráfica 4 se reseñan las responsabilidades de las entidades participantes del proyecto, referenciando los resultados que deben generarse en cada una de las actividades del proyecto y fecha de cumplimiento, de manera que se puedan lograr los objetivos generales y específicos del proyecto.

**Grafico 4: Cronograma de proyecto - tiempo, responsables y resultados.**



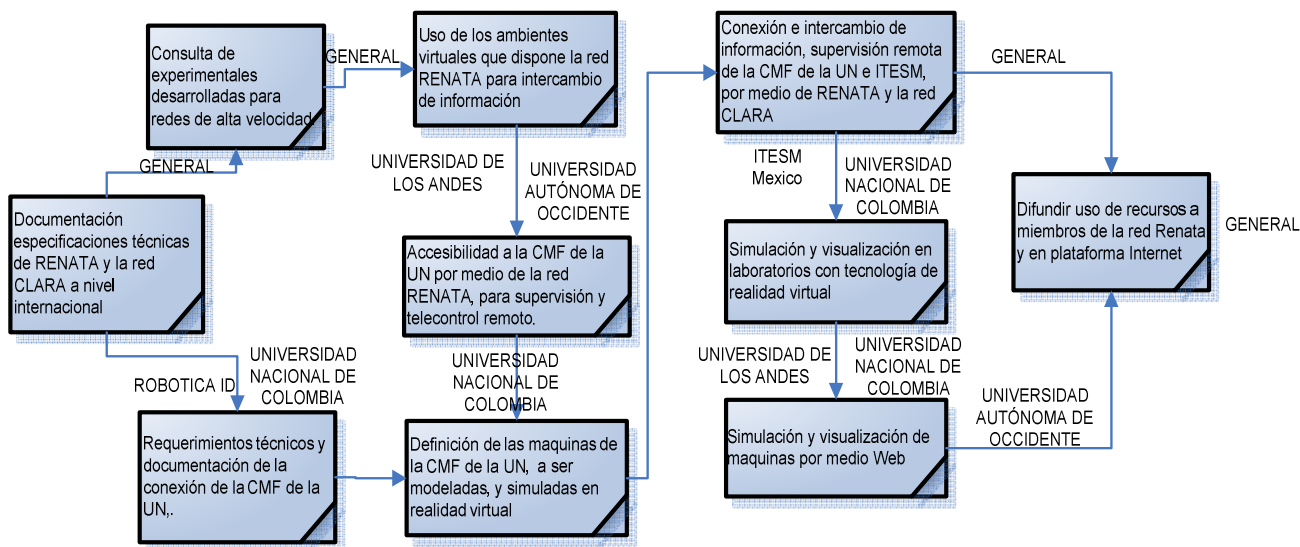
De igual manera en el gráfico 5 se relaciona el ciclo de vida del proyecto, con base en los resultados que se esperan obtener en cada una de las etapas: Inicio, Crecimiento, Maduración que es cuando se pueden obtener los resultados integrados mas importantes del proyecto; la Terminación donde se presentaran los resultados finales consolidados del proyecto y su divulgación.

**Gráfico 5: Ciclo de vida del proyecto**



En el gráfico 6 se muestra el diagrama de flujo con la metodología del proyecto, relacionando las entidades.

**Gráfico 6: Metodología del proyecto**

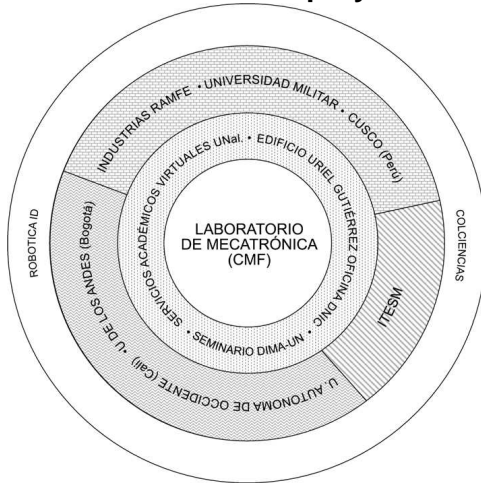


Para el caso de la Universidad Nacional de Colombia se ha realizado el trabajo con los siguientes participantes: Profesores Jorge Sofrony, Luis Miguel Méndez, Gabriel Mañana, Ing. Javier Duque de la División Nacional de Informática y Comunicaciones, Ing. Diego Amaya, Ing. Javier Corredor, Tesistas de pregrado de Ingeniería Mecánica – Mecatrónica y Sistemas: Margarita Pérez, Miguel Mesa, Fabián Camargo, David Escobar, Jorge Nontoa, Eliud Luna, Xavier Corredor, Arturo Perpiñan, Luis Riaño, Jimmy Mogollón y Fabio Fabián Barbosa.

## PRUEBAS REALIZADAS

En el desarrollo del proyecto se han realizado varias pruebas preliminares en la Universidad Nacional de Colombia con el apoyo de la empresa Robótica ID, Colciencias y la Universidad de los Andes.

### Gráfico 7: Gráfico de proyección de las experiencias - Pruebas en Red:



En una etapa preliminar las pruebas se realizaron como lo indica el gráfico, primero en el laboratorio de Mecatrónica, luego en diferentes edificios de la Universidad Nacional de Colombia sede Bogotá, el edificio Uriel Gutiérrez desde la oficina de la División Nacional de Informática y Comunicaciones – DNIC, el edificio del Departamento Nacional de Servicios Académicos Virtuales y el edificio de Ciencias Económicas en el 3º seminario

DIMA UN a través de la red de área local. Estos primeros ensayos brindaron la oportunidad para acceder a la comunicación a través de Internet, contribuyendo para formular el proyecto de investigación en Convocatoria 393 - Renata de Colciencias.

En la segunda etapa de pruebas se buscaba que personas con un grado intermedio en el conocimiento de la celda de manufactura abordara la aplicación, supervisado por personas expertas, procurando ver posibles inconvenientes y soluciones. En esta etapa se desarrollaron pruebas realizando la conexión de manera remota, desde Robótica ID, la Universidad de los Andes y Colciencias.

Específicamente se desarrolló una prueba desde la empresa robótica ID para la Fresadora CNC multiejes (22 de febrero) y otra para el Brazo Robótico IBM 7540 SCARA (3 de Marzo de 2008), se detectó la necesidad de acoplar más cámaras para visualización de cada una de las máquinas, y también de desarrollar una interfaz HMI (Human Machine Interfaz) mas amigable que permita de una manera intuitiva el manejo de las máquinas/robot del laboratorio.

El 11 de Julio de 2008 se desarrolló una prueba de conexión por medio de Internet desde la Universidad de los Andes. El Profesor Pablo Figueroa ingresó a la aplicación como usuario "estudiante", donde pudo observar los comandos enviados por el "administrador", que en esta prueba fue el Ing. Javier Corredor, quien se encontraba en la Universidad Nacional de Colombia, también durante esta prueba el Profesor Pablo Figueroa, ingresó como usuario "administrador" y ejecutó una tarea previamente cargada en controlar en la fresadora CNC multiejes, luego detuvo la tarea e intentó reiniciar el procedimiento pero no fue posible porque la máquina estaba en un final de carrera, este estado no se está reportando al usuario remoto.

En la Primera prueba realizada en Colciencias el 21 de Julio se explicó de manera general el proyecto, las máquinas con las que cuenta el laboratorio de Mecatrónica y se trató de mostrar la aplicabilidad del software para visualización y supervisión remota.

**Tabla 1: Protocolo de primera prueba experimental de manera remota desde Colciencias**

Asistentes	Cargo	Fecha	Hora	Lugar	Tiempo de duración	Tiempo de preparación	Observaciones - Fallas
Dago Bedoya	Coordinador Académico RENATA	Julio 29 de 2008	03:00 p.m.	Colciencias	2 horas y media	1 hora y media	Se explicó en forma general el proyecto
Andrés Salinas	Coordinador Técnico RENATA						Descripción de las máquinas de la celda
Diego Amaya	Ingeniero Guía ejercicio - Proyecto						Comandos básicos de manejo
Miguel Mesa	Guía ejercicios Manufactura - Proyecto						No se visualizó el video, por desconfiguración software
Margarita Pérez	Ejercicios Manufactura - Proyecto						Tarea: Actualización de software de la cámara
							Satisfacción por parte de los ingenieros de Colciencias

La segunda prueba realizada en Colciencias el 6 de agosto se realizó para monitorear y controlar la máquina multiejes y el Robot Scara de manera remota con la colaboración de la cámara que permite ver el video en tiempo real y el monitoreo de la DNIC para el uso de la infraestructura de la red.

**Tabla 2: Protocolo de segunda prueba experimental de manera remota desde Colciencias**

Asistentes	Cargo	Fecha	Hora	Lugar	Tiempo de duración	Tiempo de preparación	Observaciones - Fallas
Dago Bedoya	Coordinador Académico RENATA	Agosto 06 de 2008	10:00:00 am.	Colciencias	2 horas	1 hora	Problemas en la comunicación
							Solución del problema - cambio de la red de Internet
Andrés Salinas	Coordinador Técnico RENATA						Se ejecutó el reglaje de herramienta en la fresadora CNC multiejes
							Falló el reglaje y la herramienta se estrelló - Falla en los sensores
Gladys Alarcón							Se corrió nuevamente el programa y se ejecutó satisfactoriamente
Camilo Jaimes	Oficina de Comunicación						Baja recepción de video, por baja velocidad de la red
Diego Amaya	Ingeniero Guía ejercicio Proyecto						Se ejecutó una rutina de ensamble básica en el robot Scara - no hubo problemas
Miguel Mesa	Ejercicios Manufactura - Proyecto						Tarea: Configurar los computadores del laboratorio de Mecatrónica a la RED RENATA - Javier Duque y Dago Bedoya
Margarita Pérez	Ejercicios Manufactura - Proyecto						Tarea: Realizar una nueva práctica a través de Videoconferencia

Estas pruebas se realizaron en el laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Nacional, el cual se aprecia en la siguiente fotografía (ver gráfico 7), cuenta con varios equipos CNC y dispositivos para el monitoreo de los canales de comunicación y el desempeño de las aplicaciones que se realiza en la Dirección Nacional de Informática y Comunicaciones - DNIC de la Universidad Nacional

**Gráfico 8: Laboratorio de Mecatrónica. Universidad Nacional De Colombia**



**Gráfico 9: Maquina CNC multiejes**



**Gráfico 10: Robot Scara IBM 7540 de Ensamble**



**Gráfico 11: CMM Plataforma Experimental Digitalizadora y Medición por Coordenadas**



**Gráfico 12: LEADWELL Centro de Mecanizado CNC**

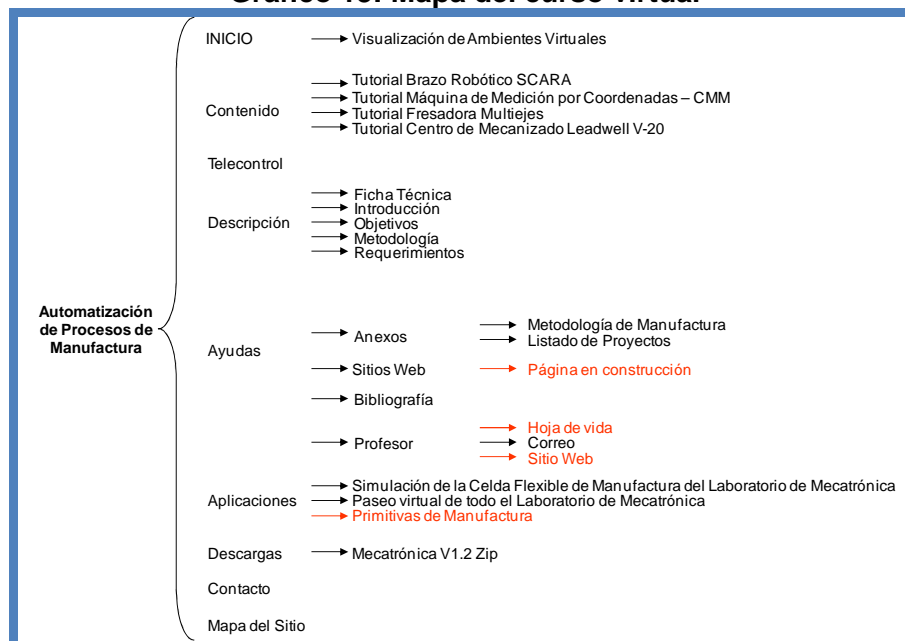


## **CURSO VIRTUAL**

Actualmente en la Universidad Nacional de Colombia dispone de un curso virtual denominado "Automatización de procesos de manufactura" ([www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica](http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica)), es un curso abierto para el público en general y muestra desde los elementos que componen las máquinas-robot CNC de la celda de manufactura flexible del laboratorio de Mecatrónica de la Universidad Nacional de Colombia hasta la configuración y manejo por medio de

modelos virtuales desarrollados en VRML (Virtual Reality Modeling Language) y Java 3D. El curso virtual es una herramienta de aprendizaje para todo tipo de usuario y se diseñó con base en los principios de Manufactura Virtual, a continuación se presenta un mapa de contenidos de la página en el gráfico 13.

**Gráfico 13: Mapa del curso virtual**



Con ayuda de modelos desarrollados en VRML, se muestran las generalidades cinemáticas de las máquinas-robot y por medio de los desarrollados en Java 3D, se enseña el lenguaje de programación, además permite que el estudiante ensaye sobre el modelo los comandos para inicializar las maquinas / robot y para su programación, en el cual se conoce el entorno de operación, el lenguaje de programación y se pueden realizar pruebas de tareas sobre los modelos virtuales de las maquinas-robot CNC

## NOTAS BÁSICAS COMPLEMENTARIAS

### Educación Virtual

La UNESCO (1998) en su informe mundial de la educación, define el entorno de aprendizaje virtual como un programa informático interactivo de carácter pedagógico que posee una capacidad de comunicación integrada, es decir, que está asociado a Nuevas Tecnologías. El uso de Internet como medio de información y comunicación obliga a desarrollar habilidades en el lenguaje escrito, a dialogar entre los iguales, entre los propios estudiantes, entre el estudiante y el docente, entre el docente y el experto, etcétera. Por tanto se esta hablando de un modelo dialógico porque obliga al intercambio y la interacción entre los sujetos que intervienen en el proceso educativo donde el docente ya no es poseedor del conocimiento sino que orienta, media y fomenta el estudio para el logro de los objetivos de aprendizaje propuestos.

La práctica educativa con estudiantes de Ingeniería Mecatrónica y Mecánica de la Universidad Nacional en asignaturas como Ingeniería de Manufactura y Automatización de Procesos, ha demostrado una vez más que no es suficiente la formación académica y capacitación con la incorporación de las tecnologías, las cuales tienen un desarrollo vertiginoso día a día y por sí mismas no tienen significado educativo, se requiere que éstas vayan acompañadas de un modelo pedagógico innovador y creativo que le de sentido a su uso, que de manera continua se renueve y se transforme con base en propuestas acordes a los planteamientos del nuevo siglo, es decir, responder a los cambios de paradigmas educativos, a la

transnacionalización, a la sociedad del conocimiento, a la democratización de la educación y a la formación para toda la vida.

La visión panorámica de la **Manufactura Virtual** es proveer la capacidad de "Manufacturar en el Computador". En esencia, la Manufactura Virtual, en última, suministrará el modelo y la simulación del ambiente, de manera tan poderosa que la fabricación y el ensamblaje del producto, incluidos todos los procesos asociados con la manufactura, podrán ser simulados en el computador. Esta enorme capacidad tomará en cuenta todas las variables del ambiente de producción desde los procesos del piso de trabajo, hasta las transacciones empresariales. En otras palabras, la Manufactura Virtual facilitará la visualización de las interacciones de los procesos productivos, la planificación de procesos, cronogramas, planificación de ensamblajes, logística para las líneas de producción, y procesos de impacto relativo como contabilidad, compras y administración.

## **BIBLIOGRAFÍA**

- [1] Germán Andrés Ramos, 2003, "Integración y Comunicación de Celda Flexible de Manufactura Experimental con una Red de Área Local Basada en el Protocolo TCP/IP", Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [2] Oscar Ochoa, 2005, Software de orientación Didáctica de manufactura Experimental CNC Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- [3] Orjuela German, Silva William, Cárdenas Jose, 2001, Red Industrial con interfaz RS485 para prototipo CMF, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Ingeniería en Control e instrumentación Electrónica.
- [4] Quevedo Wilson, 1998, Aplicación experimental MX2000 al mecanizado de geometrías especiales, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería Departamento de Mecánica..
- [5] Forero Jhon, 2003, Digitalización experimental en 2-D en la máquina de medición por coordenadas (CMM) del laboratorio de Mecatrónica, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Postgrado en Automatización Industrial.
- [6] Cruz Edwin, Becerra Diego, 2005, Digitalización de engranajes cilíndricos en la CMM experimental con plataforma en Labview, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica y Mecatrónica.
- [7] Hernández Juan, Olier Ivan, 1998, Diseño e implementación del sistema de control en un robot industrial, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica.
- [8] Correa Augusto, 2002, Software de control por manufactura virtual para el robot Scara, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Mecánica y Mecatrónica.
- [9] Corredor Camargo, Javier Adolfo, 2007, Interconexión Y Supervisión Remota Por Medio De Internet De Una Celda De Manufactura Flexible. Tesis de Maestría en Automatización Industrial, Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ingeniería, Departamento de Eléctrica y Electrónica
- [10] VrmI 2.0 Sourcebook. Ames, Andrea L.
- [11] Los 600 Principales Métodos De Java. Santamaría, Becerra.
- [12] VrmI Clearly Explained. Vacca, John
- [13] Html 4.0 Sourcebook. Graham, Ian.
- [14] Metodología para Simular. Lozano Rojas, Benigno.
- [15] Communication Networks For Manufacturing. Pimentel, Juan R. Prentice Hall. 1990.
- [16] System Approach To Computed-Integrated Desing And Manufacturing. Singh, Nanua.
- [17] Galvis Panqueva, Alvaro H. Ingeniería De Software Educativo. 1992.
- [18] Hendley, B. Martin Buber On The Teacher-Student Relationship: A Critical Appraisal. British Journal Of Education Technology. 1978.
- [18] Dwyer, T. Heuristic Strategies For Using Computer To Enrich Education. International Journal Of Man-Machine Studies.