

## Reporte Intermedio Noviembre 2003

### Título del Proyecto:

**Interacción Multilateral vía Internet con Robots Cooperativos**

### Datos Generales de los Investigadores Principales

Institución	CINVESTAV	Universidad de Guadalajara	UNAM
Nombre	Dr. Vicente Parra Vega Dr. Francisco Ruiz Sanchez	Dr. Víctor M. Larios Rosillo Dra. María Elena Meda Campaña	Dr. Marco Arteaga Pérez
Firma			
Título	Profesor Titular	Profesor Titular	Profesor Titular
Departamento	Sección de Mecatrónica Departamento de Ingeniería Eléctrica	CENIIA, Departamento de Sistemas de Información – CUCEA	Sección Eléctrica – DEPFI Facultad de Ingeniería
Domicilio	Av. IPN · 2508, 07300 San Pedro Zacatenco México, D.F., México	Mod. L-308 Periférico Nte. 799, Los Belens 45100 Zapopan, Jalisco	Coyoacán, C. P. 04510 Ap. Postal 70-256 México, D. F. México
Teléfono	01-55-5747-3788	01-33-3656-8593	01-55 56 22 30 13
Fax	01-55-5747-3866	01-33-3656-8593	01-55 56 16 10 73
E-Mail	<a href="mailto:vparra@mail.cinvestav.mx">vparra@mail.cinvestav.mx</a> <a href="mailto:fruiiz@mail.cinvestav.mx">fruiiz@mail.cinvestav.mx</a>	<a href="mailto:vlarios@acm.org">vlarios@acm.org</a> <a href="mailto:ma_elena@yahoo.com">ma_elena@yahoo.com</a>	<a href="mailto:arteaga@verona.fi-p.unam.mx">arteaga@verona.fi-p.unam.mx</a>

## Resumen Ejectivo

### Resumen

Este documento presenta los avances del primer semestre del proyecto, cuyo objetivo es la integración de una interfase multimodal multiusuario vía Internet2 para realizar tareas cooperativas remotas con robots manipuladores antropomórficos utilizando estaciones robóticas maestras de tele operación. El avance del proyecto indica que las metas se han conseguido en tiempo y forma, y se prevé conseguir el objetivo exitosamente el segundo semestre.


### Participantes

#### **Investigadores**

- Dr. Francisco Ruiz Sánchez
- Dr. Vicente Parra Vega
- Dr. Marco Arteaga Perez
- Dr. Víctor M. Larios Rosillo
- Dra. María Elena Meda Campaña

#### **Asistentes de Investigación**

- Emmanuel Dean de Leon (Cinvestav)
- Luis G. Garcia Valdovinos (Cinvestav)
- Jorge Mendez (Cinvestav)
- Hassan Ismael Torres Rodriguez(Cinvestav)
- Juan Carlos (UNAM)
- Martha Patricia Martinez(U. de G.)
- Martha Elena Zavala (U. de G.)
- Lorenzo (U. de G.)

### Contenido

*página*

1. Introducción	3
2. Reporte equipo de trabajo de la Universidad de Guadalajara	4
3. Reporte equipo de trabajo de la Universidad Autónoma Nacional de México	26
4. Reporte equipo de trabajo de la Universidad de Cinvestav	30
5. Estado de la conectividad	43
6. Reporte del ejercicio presupuestal	44
7. Conclusiones y perspectivas	53

## 1. Introducción

El objetivo del proyecto plantea la integración y tele operación bilateral de una interfaz multimodal multiusuario para realizar de tareas cooperativas en lazo cerrado utilizando robots manipuladores antropomórficos. La característica de “lazo cerrado” es el distintivo principal del proyecto, lo cual lo coloca en el estado del arte de sistemas teleoperados multilaterales, con interfaces multimodales, de hecho, no se tiene conocimiento de un sistema similar en el mundo. Esto *per* se habla de la complejidad asociada al proyecto desde el punto de vista de sistema del comunicaciones y administración de redes, sistemas de control, sistema robótico, sistema de las interfaces hombre-máquina, sistema de realidad virtual aumentada, sistema de visualización científica y sintético, así como del sistema mecatrónico de *hardware* y *firmware*.

La complejidad de desarrollo e integración del proyecto, asociada a los diferentes componentes del proyecto, es hoy en día tema de investigación y requiere la incorporación de un grupo de trabajo compuesto por especialistas de diversas temáticas. Esto justifica plenamente la participación de tres laboratorios de investigación de tres instituciones, para un total de 5 investigadores y 8 asistentes de investigación, persiguiendo 5 tesis de doctorado y 3 de maestría en temáticas asociadas a los subsistemas del proyecto. Los conocimientos y la infraestructura generada por este proyecto serán colateralmente utilizadas posteriormente en éstas tesis.

Por otro lado, la principal suposición subyacente del proyecto es que el retardo de la red Internet2 es despreciable, con respecto a los anchos de banda y modos resonantes de los diferentes subcomponentes, por lo que la utilización de aplicaciones nativas de Internet2 (IPv6) es un requisito fundamental del proyecto (este proyecto no se podría realizar sobre Internet normal, IPv4). Entonces, en este proyecto se aprovecharán al máximo las ventajas de QoS y ancho de banda que ofrece Internet2.

Varias actividades conjuntas se han llevado a cabo, entre ellas sesiones de trabajo de mas de 12 horas por día por todos los participantes del proyecto, tanto en la UdG en la ciudad de Guadalajara, como en Cinvestav y en la UNAM, en la Ciudad de México. Esto ha redundado en la integración de un solo equipo trabajando en tres laboratorios hacia el objetivo del proyecto. El carácter multidisciplinario de la temática del proyecto a impulsado la integración de los participantes y ha realmente conjugado un equipo de trabajo multidisciplinario, de gran impacto en particular para la meta específica de formación de recursos humanos.

Actualmente, el proyecto presenta avances significativos, los cuales fueron descritos brevemente durante la participación que se tuvo en la Reunión de Otoño CUDI 2003, el 3 de octubre de 2003 en la ciudad de Puebla. Los avances al 15 de noviembre han cumplido en tiempo y forma con las metas específicas plasmadas en el calendario propuesto en el proyecto. Así mismo, reconocemos que esto ha sido parcialmente posible debido al excelente manejo del proyecto por parte de CUDI y de las instancias administrativas correspondientes en cada una de las instituciones participantes.

Así entonces, con el propósito de organizar el material por temáticas, el presente manuscrito documenta brevemente en las siguientes tres capítulos las actividades por equipo de trabajo, y en el capítulo 5 se resumen el ejercicio presupuestal. Finalmente, el capítulo 6 presenta las conclusiones del presente manuscrito y discute las perspectivas de la conclusión del proyecto durante los restantes 6 meses.

## 2. Reporte de la Universidad de Guadalajara

### 2.1 Introducción

La presente sección de este reporte comprende los componentes del sistema de cómputo distribuidos desarrollados así como una descripción de las actividades realizadas por parte de la Universidad de Guadalajara dentro del marco del proyecto CUDI 2003 ref. 03/02/0404.

Estos trabajos se pueden dividir en cuatro grandes direcciones de donde tenemos la interfaz 3D, las videoconferencias, la gestión y administración de las comunicaciones del sistema y finalmente los algoritmos y estrategias para el control de la calidad de servicio.

La interfaz 3D permite la reconstrucción de un modelo tridimensional de los robots que darán soporte en una etapa final a una interfaz de realidad virtual al soportar imágenes estereoscópicas para facilitar la teleoperación. Esta interfaz esta desarrollada con Java 3D y ahorra una gran cantidad de ancho de banda en el sistema al permitir visualizar desde cualquier ángulo el estado de los robots y solo tener como línea de control en la comunicaciones la transmisión de unos cuantos vectores de posición.

Sin embargo, aún contando con una interfaz 3D, es necesario tener una retroalimentación visual que indique el estado real de los robots y por esta razón se requiere un sistema que permita recibir y enviar señales de video. Además, los brazos robot serán manipulados de dos puntos distantes y es necesario que los operadores puedan comunicarse visualmente para una mejor coordinación de sus tareas. Por estas razones se decidió implementar el *sistema de videoconferencias* entre los nodos de teleoperación. Este sistema está integrado a todo el sistema y tiene la ventaja de contar con un control del ancho de banda según el estado de la red y del tráfico en la misma. El sistema es innovador al permitir visualizar simultáneamente los 3 nodos de teleoperación.

Una parte medular son las telecomunicaciones que comprenden el envío de paquetes de manera eficiente para cada una de las líneas de control y administración del sistema de teleoperación. Para esto se emplean dos protocolos; un primero para transmisión de datos en tiempo real mediante RTP y el segundo mediante el protocolo orientado a conexión como es el TCP. En este sentido cabe remarcar que previo a la realización de este proyecto no existía ninguna implementación del protocolo RTP para envío de datos otros que audio/video. El problema es que las líneas de control de los robots requieren enviar vectores en RTP para retroalimentar los robots reales así como los avatares virtuales que se emplean en los nodos de teleoperación. Así, una contribución importante de este trabajo es el haber desarrollado los *sockets* de comunicación en RTP sobre Java para poder encapsular de manera eficiente cualquier objeto serializable para envío por la red. Igualmente, el protocolo ha sido optimizado para poder enviar y recibir datos sin retardos importantes. Sobre los *sockets*, se ha definido un modelo del sistema para garantizar la tolerancia a fallas de manera que si un nodo en teleoperación se desconecta o alguno de los componentes falle, sea posible que el sistema cambie a un modo operativo seguro. El sistema de administración de las comunicaciones adicionalmente valida la identidad de cada usuario preparando otra parte que estará relacionada con una revisión de los aspectos de seguridad en el sistema.

Finalmente, por requerimientos de la aplicación y por operatividad de los robots es necesario que los datos de control enviados a los robots no tengan un retardo mayor a los 9ms. En este sentido, aún sobre internet 2 y el ancho de banda que este puede ofrecer es necesario estar monitoreando constantemente el estado de la red para poder reservar y garantizar un margen de ancho de banda que permita operar confiablemente la aplicación. Esto se logra mediante un módulo de control de calidad de servicio que en cada paquete enviado monitorea retardos y en caso de poco ancho de banda disponible toma las medidas necesarias para reducir ó desconectar algunos recursos de la aplicación no prioritarias como son algunas de las sesiones simultaneas de videoconferencia (donde se puede disminuir la calidad visual y de cuadros por segundo a transmitir) para dar prioridad a las líneas de control. Para esto es necesario determinar cuales serán las políticas de calidad de servicio y el planteamiento de los algoritmos para este efecto.

Así, las siguientes secciones muestran a detalle los puntos comentados en esta introducción. La documentación de cada parte desarrollada se incluye en un anexo.

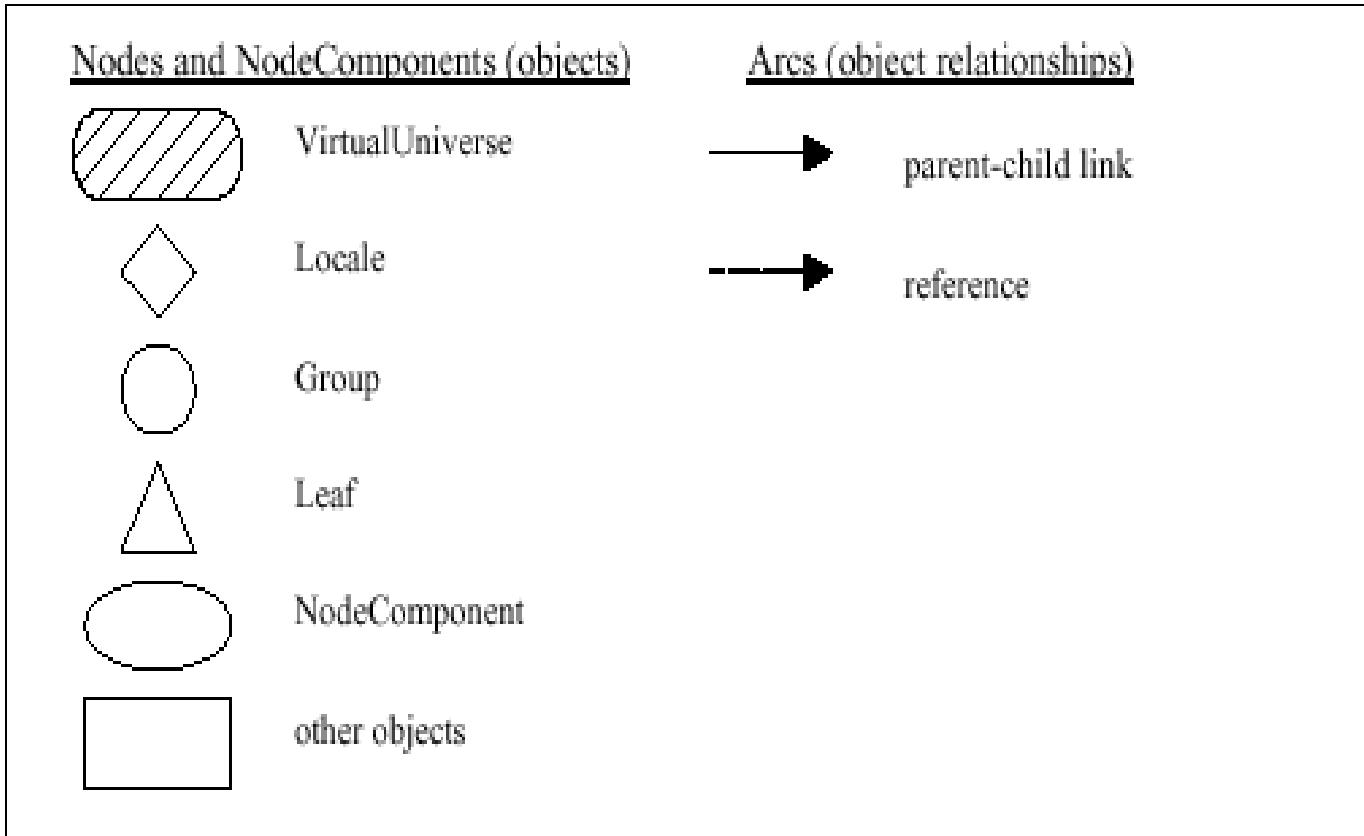
## **2.2 Interfaz 3D**

El sistema de cómputo que soporta la la interfaz 3D para visualización de los robots ha sido denominada “karla3d”. Esta cuenta con un panel que contiene un universo virtual y algunas herramientas de control y de administración del sistema. El universo virtual que se integra, forma parte de una librería conocida como “API Java3d”, y es complementaria con la distribución estándar del SDK de java 1.2.

El API java 3d es otorga los objetos y métodos necesarios para escribir programas que sirven para visualizar e interactuar con gráficos en tres dimensiones y provee constructores de alto nivel para la creación y manipulación de objetos geométricos en 3d así como estructuras Java para calcular, animar y visualizar gráficos de geometrías 3D en tiempo real. Para obtener las geometrías, se tiene un objeto cargador (*starfire*) que permite importar los archivos en formato 3DS (3Dmax) correspondiente a un software avanzado de edición de ambientes tridimensionales.

Los objetos geométricos residen en un “universo virtual” que posteriormente es calculado y representado en la pantalla. El API esta diseñado con la flexibilidad para crear universos virtuales. El universo virtual es un objeto que permite contener y representar una escena 3D. Java3d crea instancias de objetos, y los aloja dentro de una estructura de datos llamada “escena”; una escena es un conjunto de objetos 3D agrupados en una estructura de árbol que especifica el contenido del universo virtual.

La representación grafica de una escena puede servir de diseño para los programas en java3d. Las escenas se dibujan usando símbolos estándar como los que se muestran en la figura 1.

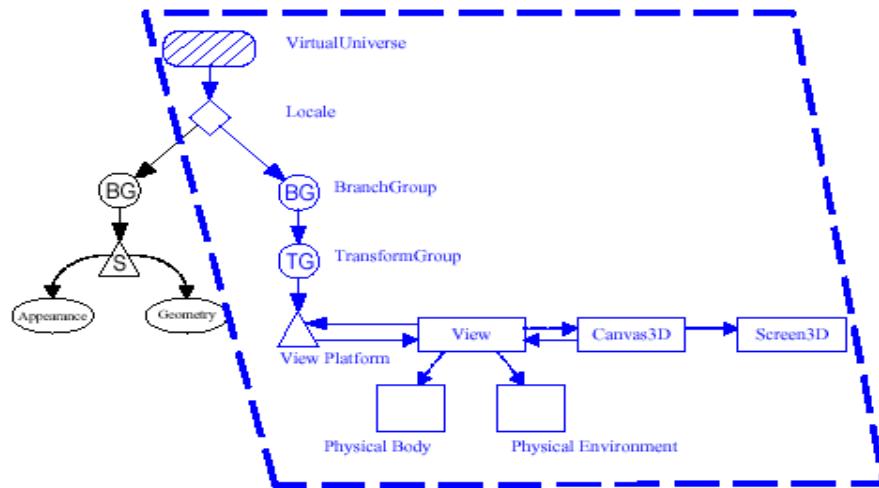


**Figura1.** Cada uno de los símbolos mostrados al lado izquierdo de la figura. representa

Un universo virtual en Java3d, se forma partiendo de una escena que es creada usando instancias de clases de Java3d y se ensambla a partir de objetos para definir la geometría, sonidos, luces, localizaciones, orientaciones y apariencia de objetos visuales y sonoros. Para comprender el funcionamiento de Java3d en cuanto a la creación de una escena, hay que recordar que:

- Los nodos en la escena, son instancias de las clases de Java3d.
- Los arcos representan los dos tipos de relaciones entre instancias de clase.
- La relación más común es padre-hijo.
- Un nodo Group puede tener cualquier número de hijos, pero sólo un parent.
- Un nodo hoja sólo puede tener un parent y no puede tener hijos.
- Una referencia asocia un objeto NodeComponent con un nodo del escenario gráfico.
- Los objetos NodeComponent definen la geometría y los atributos de apariencia usados para “renderizar” los objetos visuales.

Por tanto, solo existe un camino desde la raíz (es decir de la escena) hasta cada una de las hojas. El camino de la raíz al nodo hoja determinado, se denomina Camino de Escena y sólo habrá un único camino de escena para cada hoja. De esta manera, se crea una escena la cual muestra en pantalla única y exclusivamente la parte que queda en color azul (figura 2).

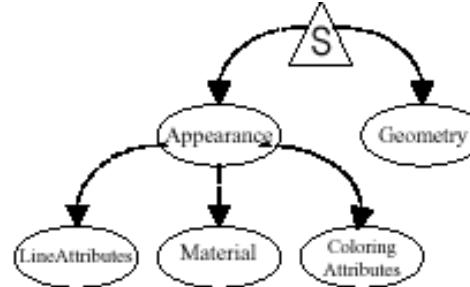


**Figura 2.** La clase SimpleUniverse proporciona un universo virtual mínimo, Indicado por la línea punteada azul

La parte de la apariencia queda representada en el objeto, pero no es un objeto, es decir, independientemente de la apariencia o geometría que tenga el objeto cuando se crea, dentro de la escena se pueden cambiar los atributos de apariencia de este, de modo que en pantalla se vea diferente o no quede igual que como fue creado en principio

Para cambiar la apariencia del objeto, se utiliza el Appearance que puede referenciar a varias subclases diferentes de NodeComponent llamados objetos de atributos de apariencia, incluyendo:

- PointAttributes
- LineAttributes
- PolygonAttributes
- ColoringAttributes
- TransparencyAttributes
- RenderingAttributes
- Material
- TextureAttributes
- Texture
- TexCoordGeneration



**Figura 3.** Estructura del Objeto Appearance

A un objeto Appearance con objetos atributos se le llama un paquete de apariencia. Para referenciar cualquiera de estos nodos componentes, un objeto Appearance tiene un método con un nombre obvio. Por ejemplo, para que un objeto Appearance se refiera a un objeto ColoringAttributes, se usa el método Appearance.setColoringAttributes( ). Un sencillo ejemplo de código de parecería está en Fragmento de código de la interfaz karla3d

```

ColoringAttributes ca2 = new ColoringAttributes();
ca2.setColor(0.0f, 0.0f, 1.0f);
Appearance appb2 = new Appearance();
appb2.setColoringAttributes(ca2);
  
```

**Fragmento 1.** Fragmento de código de la interfaz karla3d en donde se utiliza el Appearance

Así para ambos robots el árbol de cada uno de los robots, con todo y sus nodos de apariencia queda de la siguiente manera

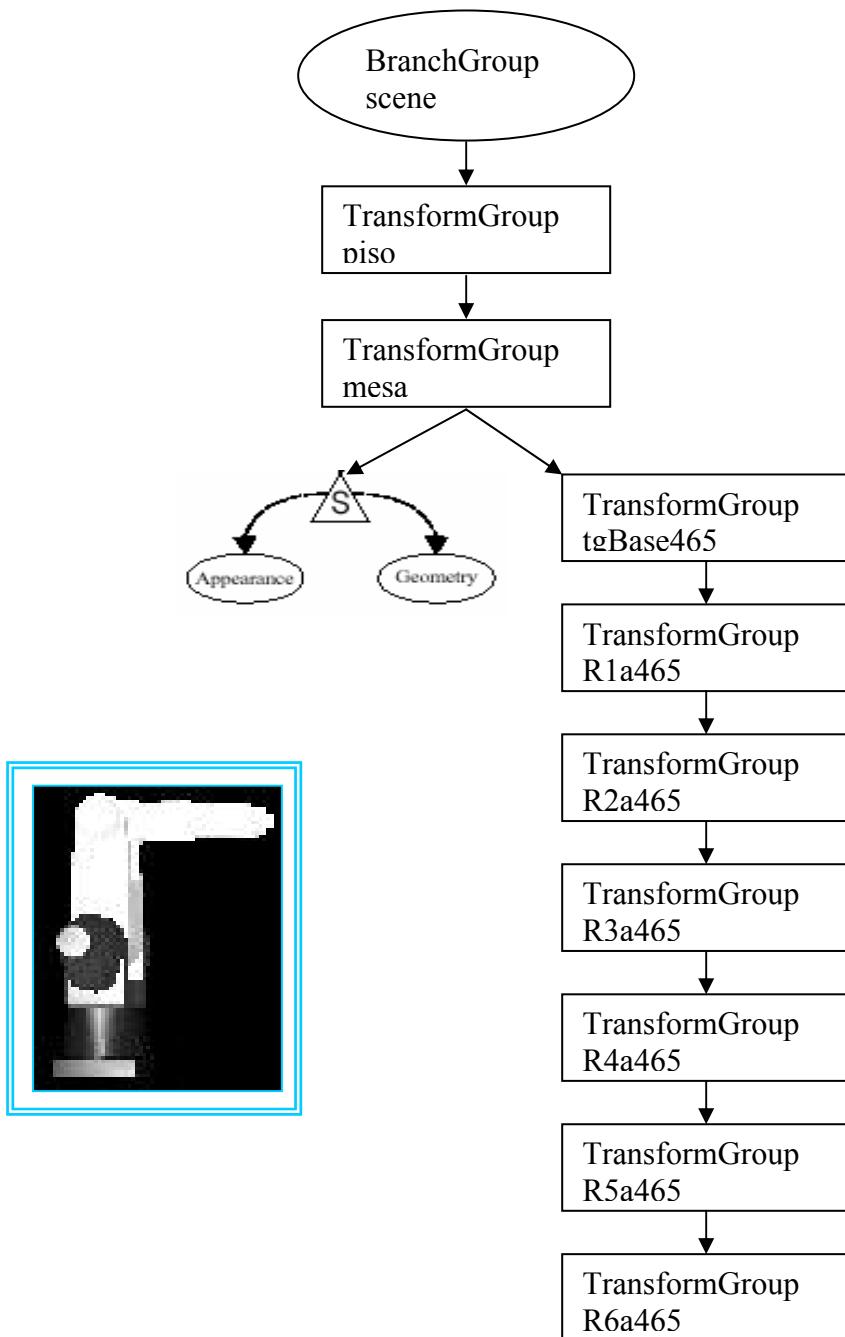


Figura 4. Árbol de la interfaz karla3d para el robot modelo 465

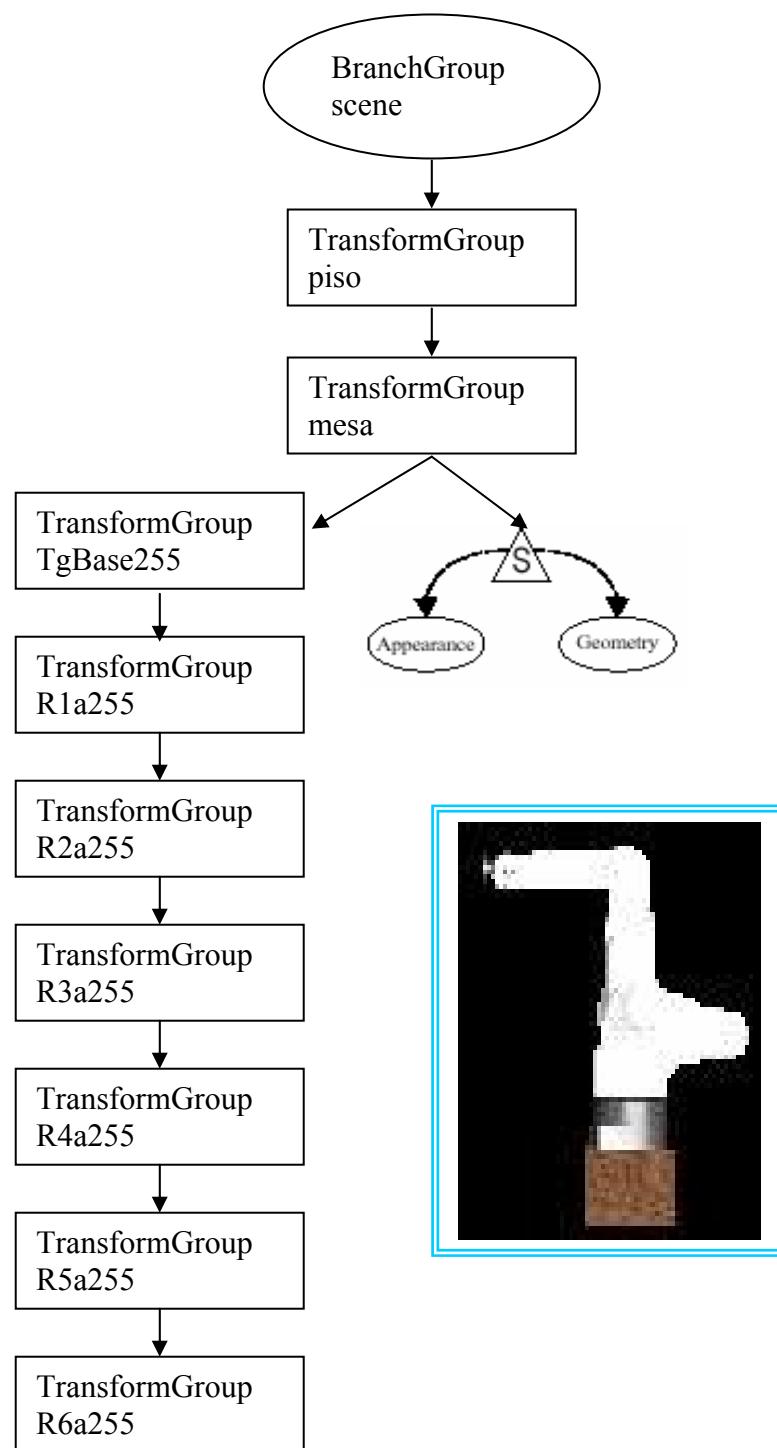
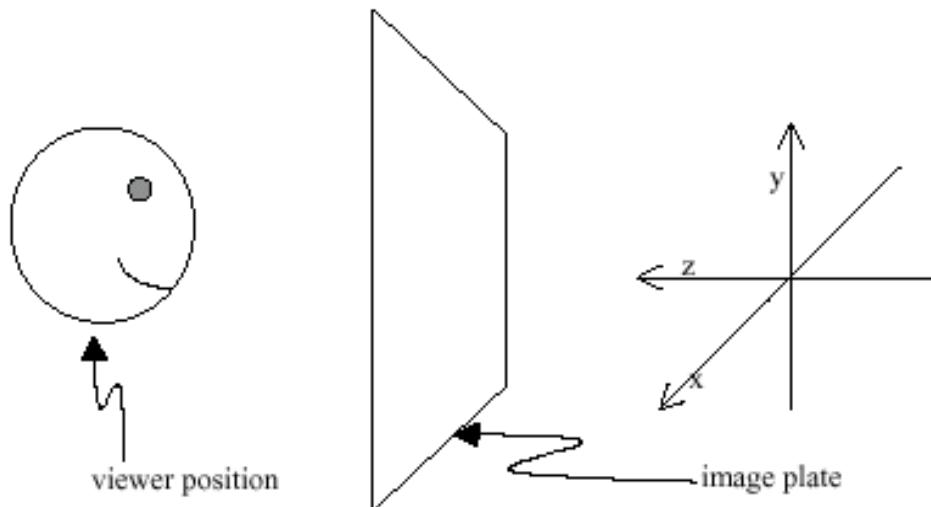


Figura4. Árbol de la interfaz karla3d para el robot modelo 465

Hay que mencionar que la visualización de la escena en coordenadas, xyz, no queda como lo conocemos normalmente. El sistema de coordenadas del universo virtual Java3d es de mano derecha, el eje x es positivo hacia la derecha, el eje y es positivo hacia arriba y el eje z es positivo hacia el espectador, con todas las unidades en metros. La figura5 muestra la orientación con respecto al espectador en un Universo Virtual.



**Figura5.** Orientación de ejes en un Mundo Virtual

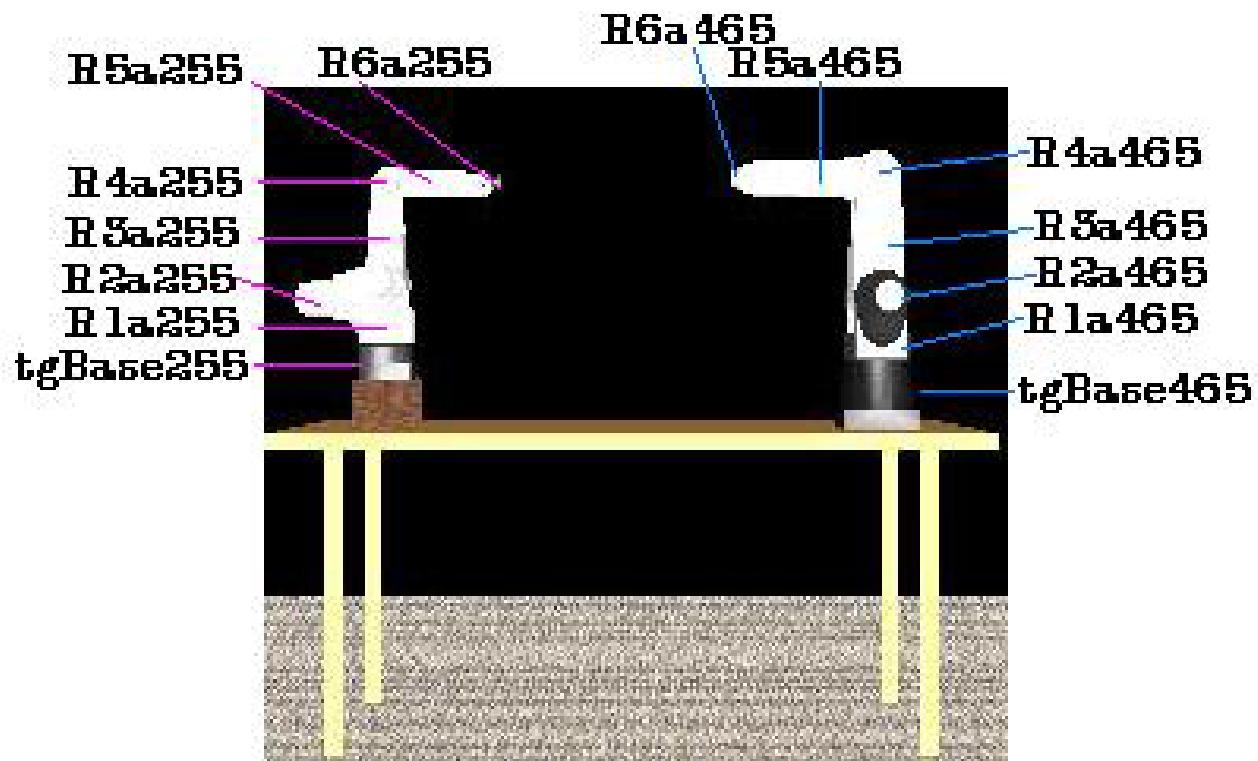
La cinemática inversa se puede facilitar, si se arma la jerarquía; es importante decir que los T.G. pueden tener otros T.G. como hijos, pero cualquier cambio en el T.G. superior afecta a todos sus hijos. Así se genera la cinemática inversa, enlazando dos eslabones de los robots y modificando el ángulo de rotación del primer eslabón, para que el a su vez vaya modificando los ángulos de sus hijos.

Para generar movimiento de las geometrías en el universo virtual, empleamos los T.G. y los métodos setCapability, que permiten realizar cambios de lectura y escritura.

```
setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_READ);
setCapability(TransformGroup.ALLOW_TRANSFORM_WRITE);
```

**Fragmento2.** Fragmento de código de la interfaz karla3d en donde se utiliza el Appearance

El sistema tiene un método de eventos que permite modificar la posición de los componentes de los robots, estos eventos son los llamados de comunicación remota para el mismo con sockets en UDP. Para poder realizar los movimientos de cada una de las piezas del robot, obviamente cada pieza debe tener un nombre diferente y dentro del TransformGroup se debe hacer la referencia hacia el objeto que se va a cargar dentro de este.



**Figura 6.** Escena de karla3d con los nombres por piezas de cada uno de los robots

En estas ligas, se muestra la [documentación](#) de java, el [código](#) implementado y los diagramas en [UML](#) para karla.

Todo lo dicho en este reporte son los avances que se tienen en lo que a interfaz virtual se refiere, dentro del campo 3D lo último que faltaría para la culminación de esta parte del proyecto seria:

- Realizar las pruebas con los lentes de visión estereoscópica.
- Realizar pruebas locales y remotas de la incorporación del joystick y la interfaz 3d.
- Hacer la demostración con el equipo.

### Referencias sobre la Interfaz 3D:

1. “Advanced Java2 Platform how to program”, H. M. Deitel, P. J. Deitel & S. E. Santry, ISBN. 0-13-089560-1 Prentice Hall.
2. <http://programacion.com/java/tutorial/3d>

### 2.3 Sistema de Video Conferencia

El propósito del sistemas de video conferencia es poder monitorear en tiempo real la operación de los robots, esto es necesario para garantizar el correcto funcionamiento de los robots, a

pesar de que se cuenta con una interfaz 3D que proporciona un modelo en realidad virtual del movimiento de los robots. Igualmente es necesario tener un medio de interacción entre los operadores del sistema, con el propósito de mejorar la operación del sistema, dicha interacción deberá ser tanto visual como auditiva.

Bajo estos requerimientos se decidió generar nuestro propio sistema de video conferencia simultánea para evitar interferencias de otros programas en las estaciones de tele operación a si como también para debido a que este sistema deberá contar con un sistema de adaptación a la calidad del medio de transmisión, es decir que si la calidad de la transmisión es mala el sistema de video conferencia deberá reducir el consumo de ancho de banda, con el propósito de que la transmisión de los datos de control del robot no se vean afectados por la reducción, con una aplicación externa como *Netmeeting* (por ejemplo) esto no es posible.

El sistema de video conferencia resulta bastante económico utilizando *webCams* conectadas a una Pc, y transmitiendo a través de la Internet.

Para el desarrollo del sistema de video conferencia se empleo la librería de soporte de java denominada Java Media Framework para el control de las comunicaciones.

Para realizar una video conferencia es necesario transmitir y recibir datos en tiempo real. Esto se consigue empleando una técnica llamada “Streaming Media”, que consiste en que el cliente al recibir los datos comienza a reproducirlo sin tener que esperar la descarga completa. Para ello se requiere un alto rendimiento en el desempeño de la red. Ya que es más fácil compensar para datos perdidos que para grandes retrasos en la recepción.

Para la transmisión de datos estáticos lo importante es que los datos lleguen a su destino, por lo que los protocolos estáticos no trabajan bien para datos que fluyen, como el video o el sonido. Los protocolos HTTP y FTP se basan en TCP, el protocolo TCP fue diseñado para comunicación de datos confiables sobre bajo-ancho de banda, por lo que cuando se pierde o se corrompe un paquete se retransmite, por lo cual los gastos indirectos de garantizar la comunicación confiable retarda la tarifa total de transmisión.

EL protocolo UDP es un protocolo no fiable, no garantiza que cada paquete alcance su destino, ni garantiza el orden de los paquetes, de esta manera el receptor será el encargado de compensar los datos perdidos, los paquetes duplicados y los paquetes que llegan fuera de servicio.

### **2.3.1 Protocolo de comunicación RTP para datos en tiempo real**

Proporciona los servicios de entrega *end-to-end* de la red para transmisión de datos en tiempo real. RTP puede ser utilizado sobre *Unicast* y los servicios de red *Multicast*, cuando se emplea *Unicast* las copias separadas de los datos se envían de la fuente a cada uno de los destinos. En una transmisión *Multicast* los datos se envían de la fuente solamente una vez y la red es responsable de transmitir los datos a las localizaciones múltiples.

Servicios proporcionados por RTP:

- Identificar el tipo de dato.
- Determinar el orden.

- Sincronizar corrientes de diversas fuentes.
- No garantiza el orden de los paquetes.
- No garantiza la llegada de todos los paquetes.

El receptor deberá reconstruir la secuencia y detectar los paquetes perdidos, usando la información contenida en el encabezado del paquete.

RTP no proporciona por si solo ningún mecanismo de calidad, pero utiliza otro protocolo para supervisar la calidad de la distribución de datos llamado RTCP.

#### RTCP proporciona:

- Mecanismos de control.
- Identificación de transmisiones RTP.

#### **2.3.2 Control de Sesiones con protocolos**

Una sesión RTP es una asociación entre sistemas que se comunican con RTP y a la vez, una sesión es identificada por una dirección de red y un par de puertos. Un puerto se utiliza para los datos y el otro para los datos de control RTCP. Con lo anterior desarrollamos la tecnología Cristal para todo lo relacionado con videoconferencia.

Para la operación del sistema Cristal se requiere que el sistema operativo reconozca adecuadamente la *WebCams*, de tal forma que como Cristal esta desarrollado Java es posible ejecutarse en cualquier plataforma operativa, Windows, Linux, *Solaris*, etc. Se eligió Windows debido a que los dispositivos de video y sonido empleados tienen un mejor soporte sobre este sistema operativo. A continuación mostramos una tabla de diferentes modelos de *WebCams* que recomendamos para el sistema Cristal.

Modelo de Videocámaras Sugeridas.

- Creative WebCam Plus.
- Genius VideoCAM Web.
- Philips ToUcam Pro 740.
- Logitech Quickcam 4000 Pro.

En este momento ya se cuenta con un sistema de video conferencia que permite integrar múltiples sesiones en forma simultánea y que permite una adaptación dinámica de la transmisión con respecto al ancho de banda disponible.

Lo que falta es la integración del sonido al sistema Cristal a si como comprobar el correcto funcionamiento del sistema de adaptación al ancho de banda y la integración al sistema global que controlara los robots, Karla.

Con respectó a lo desarrollado se proporciona el [código](#) , la [documentación](#) java y los diagramas [UML](#).

#### **Referencias de JMF:**

1. Guía de programación. API: <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/2.1.1/specdownload.html>
2. Implementación de varios ejemplos: <http://java.sun.com/products/java-media/jmf/2.1.1/solutions/>

3. Implementación del JMStudio:  
<http://java.sun.com/products/java-media/jmf/2.1.1/jmstudio/jmstudio.html>
4. Advance Java 2 Platform., Deitel., Deitel, Santry

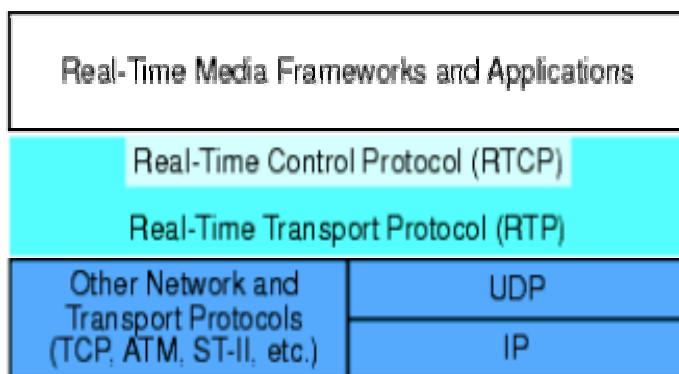
## 2.4 Soporte de Comunicación y desarrollo de sockets UDP/RTP

La arquitectura del sistema esta basada en *Peer to Peer* debido a que no existen una gran cantidad de componentes que saturen la red, solo tres nodos principales. Las comunicaciones requieren de protocolos adaptados a los datos a transmitir, existen dos anexos a considerar en este punto:

- Sistema de Administración.
- Flujo de datos en tiempo real.

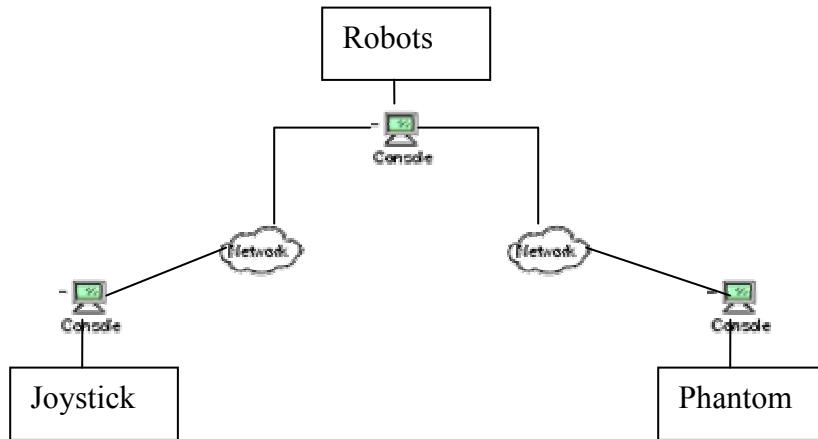
El sistema de Administración consiste en comprobar que existen las características necesarias para la operación de los Robots, además debe garantizar que durante la operación del sistema se mantendrán dichas características. Por lo que en el Sistema de Administración se emplea un protocolo orientado a la conexión, pues es necesario garantizar la integridad de los datos como en el TCP/IP. Esto se basa en Sockets que permiten establecer conexiones Cliente/ Servidor y mantener la línea viva para seguir transmitiendo. En el caso del flujo de datos en tiempo real, se requiere de un protocolo no orientado a la conexión como el UDP y particularmente el RTP. *Real-Time Transport Protocol* (RTP) es protocolo basado en UDP, y utilizado para la transmisión de datos e tiempo real, el propósito de este protocolo es ejecutar los datos tan pronto sean recibidos, sin necesidad de esperar la recepción completa de los datos. Y considerando un punto importante, que es más fácil tolerar perdida de datos que grandes tiempos de espera.

### 2.4.1 Diagrama del Protocolo RTP.



El problema con el protocolo RTP es que todo lo desarrollado hasta el momento está orientado a la transmisión de video y audio. En el caso de este proyecto se requiere de la transmisión de datos de control de los robots, es decir con un formato de paquete específico. Por esta razón, se

opto por programar e implementar u socket de comunicación en RTP que permita enviar cualquier formato de datos, esto es una contribución importante. Sobre esto se proporciona el siguiente diagrama:



Este desarrollo ya está integrado a la primera versión del sistemas de control del Joystick y al Modelo 3D de los robots, de tal forma que ya existe una interacción entre el Joystick y la Interfaz 3D a distancia. La próxima prueba a realizarse en pocos días es el control a distancia Guadalajara – México de la Interfaz mediante el Joystick.

Con respecto a lo desarrollado se proporciona el [código](#), la [documentación](#) java y los diagramas [UML](#).

### Referencias de JMF:

1. API Java: <http://java.sun.com/j2se/1.4.2/docs/api/index.html>
2. Manuales de Programación en Java: <http://www.programacion.com>
3. Advance Java 2 Platform, Deitel., Deitel, Santry.

## 2.5 Administración del Sistema

El protocolo de administración se define en varias etapas, que a continuación se describen a lo largo de esta sección. El sistema de administración permite tener acceso a los recursos del sistema e implementa un servicio de descubrimiento de los nodos operativos que pueden interconectarse para poder realizar las operaciones de teleoperación y monitoreo de los robots.

### 2.5.1 Etapa de configuración

La etapa de configuración consiste en establecer previamente las condiciones adecuadas para la operación del sistema y se determina la identidad de la terminal, por ejemplo asignar los

sockets para la transmisión de control, la transmisión de administración y la transmisión de la video conferencia.

La configuración cambiara dependiendo del tipo de estación que se este configurando, se han identificado tres tipos de terminales distintas.

-  Maestro.
-  Operador.
-  Observador.

La terminal de tipo maestro se encarga de administrar los operadores y los observadores, esta terminal será la que controla los robots, debido a que este es el punto crítico del sistema. Los operadores son las terminales que tienen los otros dos dispositivos al Joystick y el Phantom. Una terminal Observador solo podrá ver las operaciones que se realicen mediante la Interfaz 3D, pero no podrá interactuar con el sistema.

### **2.5.2 Etapa de Inicialización**

En esta etapa se establece una tabla de direcciones, la cual inicia con la dirección IP del servidor de la UNAM donde la tabla de direcciones contiene la siguiente información:

1. Direcciones IP tanto de las terminales como del servidor.
2. Lista de puertos para transmisión y recepción.
  - a. Control
  - b. Video conferencia
    - i. Audio
    - ii. video

### **2.5.3 Etapa de Enlace**

En la etapa de enlace se realizan las siguientes operaciones:

- La terminal solicita el enlace con el servidor y envía su dirección IP
- Se determina la identidad de la terminal
- El servidor envía la tabla de direcciones a la terminal
- La terminal recibe la tabla

Establecer conexión de control y videoconferencia del servidor con cada una de las terminales de la tabla de direcciones, asignando los puertos reservados para la comunicación (para el caso de una terminal con configuración observador, sólo se asignan los puertos de transmisión). La terminal asigna los puertos de comunicación (para el caso de una terminal configurada como observador no se asignan dicho puertos). Actualizar la tabla de direcciones de la nueva terminal (sólo para las terminales con configuración de operador).

## **2.6 Etapa de verificación**

Esta etapa inicia cuando todas las terminales operadoras están registradas en la tabla de direcciones. De esta forma se sabe que todos los elementos necesarios para la operación del sistema están completos y se puede iniciar la operación de los robots.

### **2.6.1 Etapa de renovación de contrato**

Esta etapa consiste en verificar que durante el experimento que las condiciones del sistema siguen siendo las apropiadas para la operación de robots. Se han planteado dos métodos para verificar que las terminales sigan activas:

- Método A: Cada una de las terminales avisa que está activa.
- Método B: UNAM hace eco con todas las terminales para verificar si están activas

## **2.7 Etapa de operación**

Esta etapa se llevará a cabo mientras los contratos de las terminales estén vigentes y consiste en el envío y recepción de datos de los dispositivos a los Robots. Si existe una desconexión en alguna de las terminales es avisada la terminal maestra para que suspenda el experimento.

Con respecto al protocolo ya sean definido gran parte de las etapas de operación y como funcionaran cada una de ellas. En la implantación ya se tiene programados los canales de comunicación TCP que se utilizaran en la administración, este sistema permite mantener activo el puerto de administración y calcular los tiempos de retardo en la comunicación.

Falta describir con mayor detalle algunos de los aspectos del protocolo, por ejemplo las posibles fallas en el sistema, y que hacer cuando ocurre cada una de ellas.

## **Anexos**

Con respectó a lo desarrollado se proporciona el [código](#), la [documentación](#) java y los diagramas [UML](#).

## **2.8 Implementación de Calidad de Servicio**

Este trabajo dentro del proyecto tiene dos objetivos fundamentales que son:

- a. Proporcionar un esquema de calidad de servicio mediante el software para seguridad operativa de los robots.
- b. Preparar el sistema para que opere bajo los esquemas de IPv4 e IPv6.

### **2.8.1 Calidad de Servicio**

La Calidad de Servicio (CS) es la capacidad de proporcionar un mejor servicio a la red y al software, garantizando un caudal de datos necesario en la red para que la aplicación funcione correctamente [Coulouris,2001].

Es indispensable contar con mecanismos que garanticen la estabilidad del sistema que la transmisión de datos sea sin interrupciones, con pocos retardos y pérdidas mínimas de paquetes de datos. La naturaleza del sistema requiere un gran control de CS, debido a la gran demanda de ancho de banda para la efectiva estimulación bilateral de las variables de control de los robots así como la transmisión de vídeo conferencias logrando una comunicación en cada uno de los punto de la red, para el funcionamiento eficiente del sistema la latencia no deberá tener retardos mayor a los 9ms.

Para proporcionar soporte de CS en el sistema, es necesario tomaron en cuenta los siguientes parámetros en un monitoreo constante:

- Ancho de banda
- Latencia
- Colisiones
- Perdida de datos o corrupción

### **2.8.2 Ancho de banda**

El ancho de banda es la máxima cantidad de datos que pueden pasar por un camino de comunicación en un momento dado, normalmente medido en segundos. Cuanto mayor sea el ancho de banda, más datos podrán circular por ella al segundo.

El ancho de banda esta ligado a hardware de la red sobre la que corren las aplicaciones. Las aplicaciones consumen cierta cantidad de ancho de banda x seg., cuando están transmitiendo sus paquetes de datos. Una manera confiable para que la aplicación pueda transmitir los datos del origen al destino, tomando en cuenta el hardware y software con que se dispone.

### **2.8.3 Latencia**

La latencia es conocida como retardos producidos en la red debido a exceso de tráfico por sobrepasar el ancho de banda o por que los equipos de transferencia de datos de la red de cómputo tienen mucha carga o fallas. Como lo son los ruteadores equipos encargados del direccionamiento y búsqueda de la ruta más corta, de paquetes de datos en las redes de cómputo. También es conocido como la tasa a la que se pierde o se desechan elementos [Coulouris,2001].

#### **2.8.4 Colisiones**

Estas ocurren cuando varios nodos transmiten a la vez ocasionando una colisión, que es una interferencia entre la información transmitida simultáneamente en el medio [Sánchez, López, 2000].

#### **2.8.5 Perdida de datos o Corrupción**

Son causas que pueden ser generalmente por coaliciones entre paquetes de datos, pérdidas de dichos paquetes, ocasionando fallas en el servidor de la aplicación.

#### **2.8.6 Soporte para IPv4 y IPv6**

Esta aplicación estará preparada para poder operar bajo la versión actual del protocolo de comunicación IPv4 y el futuro IPv6. El primer componente, IPv4 tiene limitantes en la capacidad de direcciones que puede ofrecer a las máquinas de la red. Igualmente IPv6 se implementa en modo mas eficiente de reserva de direcciones.

Espacio de direcciones IPv4 vs IPv6

- IPv4 – Direcciones a 32 bits
- IPv6 – Direcciones a 128 bits,  $2^{128}$  máquinas interconectadas.

#### **2.8.7 Velocidad de Encaminamiento**

IPv6 es menos complejo en su encabezado y por lo tanto cada nodo lo puede procesar más rápido. Cuenta con un campo de prioridad, dando prioridad a los datos de tiempo real en rango de 0-8 para paquetes con esta información, también permite la reserva de recursos para sincronización de flujo.

#### **2.8.8 Seguridad y Calidad de Servicio**

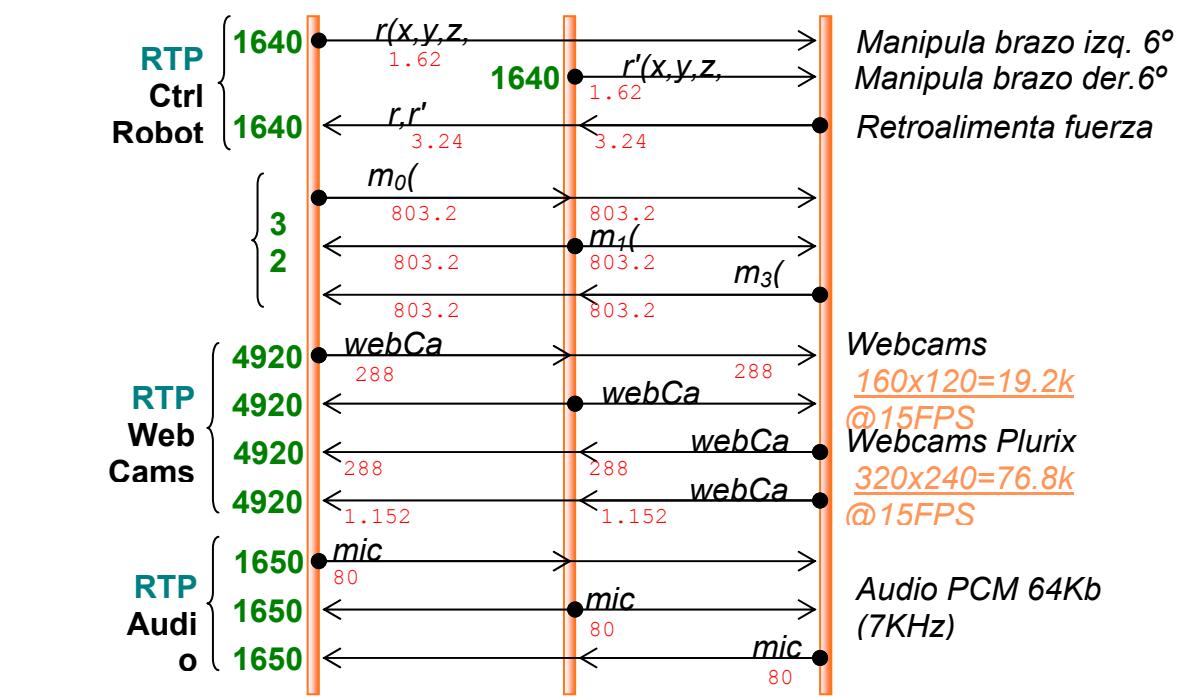
IPv6 implementa cabeceras de autentificación y de encriptación de la carga, al igual IPv4 pero este último no lo hace de manera natural. IPv6 proporciona una ventaja mayor por implementa CS en su estructura.

Ventajas proporcionadas por IPv6

- Simplifica el protocolo, permitiendo el procesamiento más rápido de los paquetes.
- Mayor atención al tipo de servicio, especialmente a los datos de tiempo real.
- Tráfico de tiempo real, cuya tasa de envío es constante, permitiendo a los enrutadores tener un mejor control de los paquetes de audio y vídeo en caso de congestión.

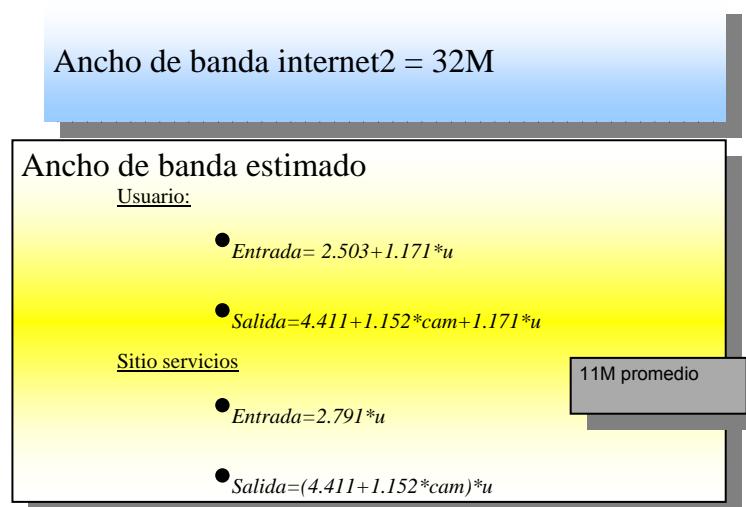
### **2.8.9 Restricciones del Sistema**

En las comunicaciones una restricción para controlar la operación de los robots a distancia consiste en que los mensajes de datos de control no deben tardar más de 9ms. en llegar desde el origen hasta el destino. Para superar esta restricción es necesario implementar medidas permanentes para censar el estado de la red y controlar el consumo del ancho de banda. En el sistema desarrollado, la arquitectura incide en el consumo de ancho de banda al implementar una configuración punto a punto. Cada nodo tiene varias líneas de comunicación como se muestra en la Figura 7.



**Figura 7.** Esquema de comunicación y estimación de consumo ancho de banda.

El esquema anterior muestra los tres puntos de comunicación, así como los puertos y los protocolos por los cuales se realizará la comunicación. Muestra también las líneas de control de los robots su prioridad y una estimación del posible consumo de ancho de banda, el canal administrativo donde se controlaran los mensajes y eventos ocurridos durante la operación del sistema, ilustra de igual manera la comunicación multimedia para cada punto contemplando el peor caso en el que se pueda consumir mayor ancho de banda



**Figura 8.** Ancho de banda disponible con internet2 y ancho de banda estimado.

El ancho de banda que se dispone al utilizar Internet2 es de 32Mb. Cubriendo las necesidades del sistema en forma óptima. La figura 2. Muestra el posible consumo de ancho de banda por usuario tanto en el envío y la recepción de información, así como el consumo de la aplicación dando como un promedio total de 11Mb. Siendo una estimación en el peor caso.

Si el sistema comienza con retardos en su funcionamiento, una posible causa puede ser insuficiente ancho de banda, siendo necesaria la reducción del consumo de ancho de banda de las líneas con menor grado de importancia. Para lograr estas reducciones y asegurar el buen funcionamiento del sistema se aplicarán las siguientes políticas de calidad.

### 2.8.10 Políticas de Calidad de Servicio

Una política de Calidad de Servicio es una tarea que permite implementar calidad y seguridad en sistemas en tiempo real. Las políticas a implementar son las siguientes:

- Mayor prioridad a las señales de control de los robots y señales de retroalimentación.
- Latencia no mayor a 9ms.
- Verificar constantemente el estado de la red, si el AB es poco, bajar el refrescado de las WebCam, dejando mayor AB para las señales de control.
- Monitorear el flujo de datos de la red y enviar señales de alarma al momento que cada parámetro de CS exceda, los límites.
- Aplicación de niveles de CS y prioridades de utilización de recursos.
- Señales de control y retroalimentación.
- Canal administrativo.
- Sonido de vídeo conferencia.
- Videoconferencia.

- Renovación de contrato, cada terminal podrá realizar un contrato de uso de recursos con el servidor mediante una ficha, tras ser renovada y con una duración de 100ms. asegurando terminales operativas.
- Monitoreo constante del estado de la red, con una frecuencia de 100ms.
- Monitoreo de cada uno de los parámetros de calidad.
- Un modulo de CS para cada terminal de la red.
- No permitir la manipulación de los robots existiendo conflictos en la red.
- Al existir conflictos con la manipulación de alguno de los robots por seguridad, se detendrá la operación.

### **2.8.11 Determinación del Estado de la Red**

Para poder determinar el estado de la red, así como el tiempo que tarda un paquete desde su origen hasta el destino y el ancho de banda que se dispone. El sistema realiza pruebas iniciales en la red. Las terminales se dirigen al servidor para solicitar su conexión, después de ser aceptadas, se determina la latencia.

El servidor envía un paquete a la terminal, al paquete se le asigna un tiempo de salida, ese mismo tiempo se convierte en un identificador del paquete. Después de que la terminal recibe el paquete lo regresa al servidor, realizando un echo del paquete. El paquete al ser recibido por el servidor le asigna un tiempo de regreso o tiempo final. El siguiente paso que realiza el servidor es la obtención de la latencia o duración del paquete en su trayecto por la red. Cuando el tiempo final se presenta, entonces se resta el tiempo inicial obteniendo así la duración. Las duraciones producidas se convierten en materia prima para obtener un promedio latencia en un tiempo dado. De esto, teniendo como base el promedio de latencia es posible entonces aplicar las políticas de calidad dentro de nuestro sistema.

### **2.8.12 Caso de estudio en CS**

Al realizar un promedio de latencia con todos los valores recibidos de las duraciones nos podría arrojar un promedio con alteraciones, debido a duraciones muy altas o muy bajas que resulten esporádicamente y si puedan afectar el promedio obtenido.

Para solucionar este problema se toman en cuenta aquellos valores que se encuentran dentro  $\pm 2\sigma$  desviaciones estándar con respecto a la media de la población.

Descartar datos y frecuencia de muestreo.

Para implementar la distribución de la población y tomar  $\pm 2\sigma$  desviaciones estándar. Obteniendo la varianza, Esta formula se aplica a una población de 100 elementos y de lo cual podemos resumir el algoritmo necesario en las siguientes líneas:

- Se obtiene la  $\sigma$

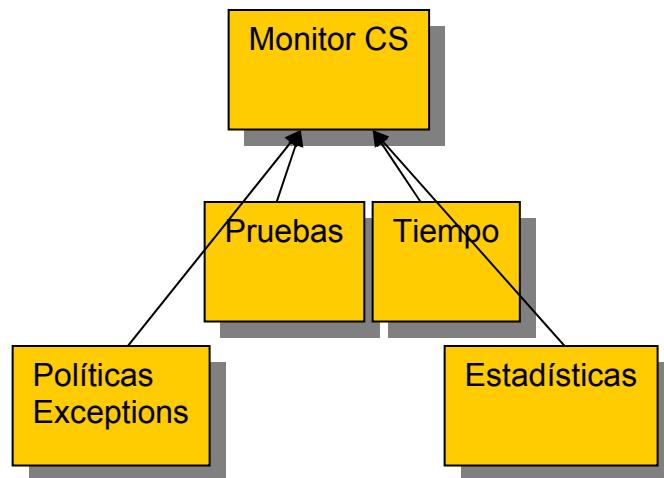
- A cada elemento de la población se resta la media
- Se eleva al cuadrado la resta del elemento menos la media
- Se suman los 100 elementos que se elevaron al cuadrado
- La sumatoria de todos los elementos se dividen entre el número de elementos
- Despues de obtener la varianza, se obtiene la raíz cuadrada dando como resultado la desviación estándar.

Si se compara cada elemento de la población, y si este se encuentra dentro del rango de  $\pm 2\sigma$  desviaciones estándar, se acumula para generar un promedio libre de valores que puedan alterar el resultado.

### 2.8.13 Perspectivas

Hay tareas pendientes de implementación antes de finalizar el proyecto como lo es el control de colisiones, políticas para reducciones de retardos así como la implementación gráfica de los parámetros de calidad de servicio.

#### Diagrama de Clases



En estas ligas, se muestra la [documentación de java](#), el código [implementado](#) y los diagramas en [UML](#) para la Calidad de Servicio.

## **2.8.14 Referencias sobre Calidad de servicio para este trabajo:**

1. [Coulouris,2001] Coulouris, George; Dollimore, Jean; Kindberg, Tim; “Sistemas Distribuidos Conceptos y Diseño”, Edit. Addison Wesley, 3ra.Edición, Madrid 2001, Madrid, pp. 61-115, 579-602.
2. [javasun] Java Sun Microsystem Sitio Web <http://java.sun.com>
3. [Tanenbaum, 1997] Tanenbaum, Andrew; “Redes Computadoras”, Edit, Prentice Hall, 3era. Edición, 1997.
4. [Sánchez, López, 2000] Sánchez, Jesús; López Joaquín; “Redes”, Edit. Mc Graw Hill, Madrid, 2000.
5. [Arnow, Weiss,2001] Arnow, David; Weiss, Gerald; “Introducción a la Programación con Java”, Edit. Addison Wesley, Madrid, 2001.

### **3. Reporte de la Universidad Autónoma Nacional de México**

#### **3.1. Introducción**

En el marco del proyecto, la manipulación de objetos juega un papel muy importante. De hecho, la destreza (*dexterity*) es una de las características más deseables de un sistema robótico. Esta permite a un sistema con varios robots trabajando de manera cooperativa manipular un objeto (Murray94).

Entre los primeros intentos para llevar a cabo trabajos coordinados con robots se encuentra el esquema operacional propuesto por Kathib (Khatib87). Durante los años 80 del siglo pasado se consideraba la evolución del contacto durante la manipulación (Montana88), que requiere una combinación perfecta de posición y control de fuerza. Algunos de los primeros métodos que persiguen este objetivo se encuentran en (Li89,Cole90). Estos resultados tienen la desventaja de que la dinámica del objeto tiene que ser conocida. En (Parra96, Liu97, Parra2001) se presentan esquemas de control que no requieren de ella y en su lugar se emplean restricciones de movimiento. Además, al ser algoritmos adaptables, tampoco requieren un conocimiento exacto de los parámetros del sistema. Otros resultados recientes son los de (Schlegl2001), donde se presentan algunos avances en cuantos a sistemas híbridos (en el sentido de una combinación entre elementos continuos y discretos).

Sin embargo, existen pocos algoritmos de control para robots cooperativos que contemplen la posible falta de mediciones de velocidad de las articulaciones o sensores de fuerza. A pesar de que la velocidad se puede aproximar muy bien por medio de diferenciación numérica en una computadora, resultados experimentales recientes muestran que es preferible diseñar un controlador en conjunción con un observador, aun si este tiene que ser digitalizado para su implementación (Arteaga2002b).

Por lo expuesto anteriormente, el diseño de controladores requerido en el proyecto se enfoca en el control de fuerza sin medición de velocidad. Al no considerarla disponible no sólo se disminuye el número de sensores requeridos, sino también se necesita trasmitir una menor cantidad de variables a distancia.

#### **3.2. Descripción del laboratorio-infraestructura, fotos**

El Laboratorio de Robótica de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM está compuesto por dos brazos robots industriales del tipo A465 y A255 de CRS Robotics (ver Figura 1). El primero tiene seis grados de libertad y el segundo cinco. Sus actuadores son motores de corriente directa con encoders ópticos de posición de alta resolución. Los manipuladores cuentan con protectores contra impactos y sensores de fuerza (Figuras 2).



Figura 1. Laboratorio de Robótica



Figura 2. Equipo experimental para robots cooperativos

En el laboratorio se tienen cuatro computadoras personales, las cuales son utilizadas para realizar los experimentos y simulaciones de algoritmos de control y son del tipo:

- PC Pentium III a 733 MHz
- PC Pentium III a 933 MHz
- PC Pentium IV a 1.7 MHz
- PC Pentium IV a 2.4 GHz

La última, la Pentium IV a 2.4 GHz, fue adquirida especialmente para cubrir con los requerimientos del proyecto. También se dispone de dos tarjetas PCI-*FlexMotion-6C* de *National Instruments* como dispositivos de transmisión y recepción de datos. Finalmente, en el laboratorio se cuenta con dos módulos de video cámaras CCD, manufacturadas por Sony.



Figura 4. Equipo estéreo de visión

### **3.3. algoritmos a implementar, con referencias**

Cómo se explicó en la introducción, se requiere diseñar controladores que permitan interactuar a robots trabajando cooperativamente. Esto supone tanto control de fuerza como seguimiento de trayectoria. Por ello, como un primer intento, se diseñó un controlador de fuerza sin medición de velocidad. Los resultados fueron satisfactorios y se presentaron en el Congreso Nacional de la AMCA 2003 (Arteaga2003). El resultado teórico ha sido ampliado y simplificado para un sistema de robots coordinados. Con base en ello se prepara el artículo “A simple

observer for the control of cooperative robots”. Se adjunta dicho artículo incompleto, pues todavía no se han llevado a cabo experimentos.

### **3.6. Bibliografía**

1. Murray94. R.~M. Murray, Z.~Li, and S.~S. Sastry. *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*. CRC Press, Boca Raton, Florida, U. S. A., 1994.
2. Khatib87. O.~Khatib, “A unified approach for motion and force control of robot manipulators: The operational space formulation”, *IEEE Journal on Robotics and Automation*, vol. 3, pp. 43–53, 1987.
3. Montana88. D.~J. Montana, “The kinematics of contact and grasp”, *International Journal of Robotics Research*, vol. 7, no. 3, 1988.
4. Li89. Z.~Li, P.~Hsu, and S.~Sastry. “Grasping and coordinated manipulation by a multifingered robot hand”, *International Journal of Robotics Research*, vol. 8, no. 4, pp. 33–50, 1989.
5. Cole90. A.~Cole, “Constrained motion of grasped objects by hybrid control”, *Proceedings of the 1990 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 1990, pp. 1954–1960.
6. Parra96. V.~Parra-Vega and S.~Arimoto, “A passivity-based adaptive sliding mode position-force control for robot manipulators”, *International Journal of Adaptive Control and Signal Processing*, vol. 10, pp. 365–377, 1996.
7. Liu97. Y.-H. Liu, S.~Arimoto, V.~Parra-Vega, and K.~Kitagaki, “Decentralized adaptive control of multiple manipulators in cooperations”, *International Journal of Control*, vol. 67, no. 5, pp. 649–673, 1997.
8. Parra2001. V.~Parra-Vega, A.~Rodríguez-Ángeles, S.~Arimoto, and G.~Hirzinger, “High precision constrained grasping with cooperative adaptive handcontrol”, *Journal of Intelligent and Robotic Systems*, vol. 32, pp. 235–254, 2001.
9. Schlegl2001. T.~Schlegl, M.~Buss, T.~Omata, and G.~Schmidt, “Fast dexterous regrasping with optimal contact forces and contact sensor based impedance control”, *Proc. IEEE Int. Conf. on Robotics and Automation*, 2001, pp. 103–109.
10. Arteaga2004b. M.~A. Arteaga~Pérez and R.~Kelly, “Robot control without velocity measurements: New theory and experimental results. To appear”, *IEEE Transactions on Robotics and Automation*, 2004.
11. Arteaga2003. M.~A. Arteaga~Pérez and J.~Gudiño-Lau, “Force control with a nonlinear observer”, *Proc. CD ROM, Congreso Nacional de Control Automático*, Ensenada, Baja California, 2003, pp. 152-157.

## 4. Reporte del Cinvestav

### 4.1 Introducción

Las tareas asignadas al equipo de Cinvestav, integrado por dos investigadores y cuatro asistentes de investigación, han sido llevadas a cabo en tiempo y forma, con resultados que a continuación se detalla:

- a. Se han comprometido 4 computadoras renovadas con recursos de CUDI, las cuales están 100% asignadas al proyecto y a las tesis de doctorado de los asistentes de investigación del este proyecto. El equipo adquirido, componentes y materiales están asignados al laboratorio bajo el resguardo de los asistentes de investigación
- b. Se esta ocupando para la realización de este proyecto aproximadamente 20 m<sup>2</sup>, además del área reasignada para la interconexión de Internet2
- c. Con respecto al presupuesto concurrente, se han comprometido aproximadamente 60,000 pesos en componentes y equipo para la estación de telé presencia master de Cinvestav, y se tienen pedidos equipo de otro proyecto por mas de 100,000 pesos, los cuales serán compartidos para CUDI.
- d. Adicionalmente se mantienen los planes para continuar el proyecto más allá del periodo de financiamiento, mediante la aplicación a una convocatoria del LAFMI, apoyada por CNRS-Francia y Conacyt en mayo de 2004.
- e. Se tiene operando la primera versión de la estación de telé presencia maestro del Cinvestav, así como el display predictivo local, el robot maestro de la U. de G. y los primeros módulos de control del laboratorio de la UNAM.
- f. Tomando en cuenta que para lograr reflexión bilateral de fuerza e implementar controles que aseguren convergencia es necesario un gran ancho de banda, sistemas locales muy rápidos, entrenamiento efectivo de los operadores, validación de todos los posibles modos de operación del sistema, controles avanzados, resultados de estabilidad y análisis de robustez, se han tomado todas las previsiones necesarios para que todo esto se cumpla. En particular en las tareas tan críticas como la que plantea este proyecto, es necesario manipular hábilmente el teleoperador, y para tal efecto, es necesario establecer reflexión de fuerza bilateral para sensar, mediante los mecanoreceptores la atribución kinestética del contacto del teleoperador con el ambiente remoto, y mediante un display visual-auditivo-predictivo, determinar las condiciones tridimensionales y sonoras de la estación remota. De esta manera, el operador tendrá percepción sensorial de la fuerza de contacto del robot esclavo y así permitirá operar mejor sobre el ambiente remoto. También, la destreza o habilidad se puede incrementar si se realizan con dos teleoperadores, como se propone en este proyecto, siempre y cuando se consideren lazos de control cooperativos locales en la estación remota, es decir que el brazo derecho sepa lo que esta haciendo el brazo izquierdo y viceversa.

Recordando que este proyecto plantea la integración de una interfase multimodal multiusuario para propósitos de realización de tareas cooperativas utilizando robots manipuladores, antropomórficos (cinemáticamente) similares a un brazo, a continuación

describimos las tareas específicas desarrolladas por el Cinvestav, y la tarea pendiente para los últimos 6 meses del proyecto. También vale la pena recordar en este punto que el distintivo de este proyecto es que es control multilateral multirobot descentralizado en lazo cerrado, contrario a lo que se ha reportado hasta el día de hoy en la literatura.

## Diagrama esquemático del sistema

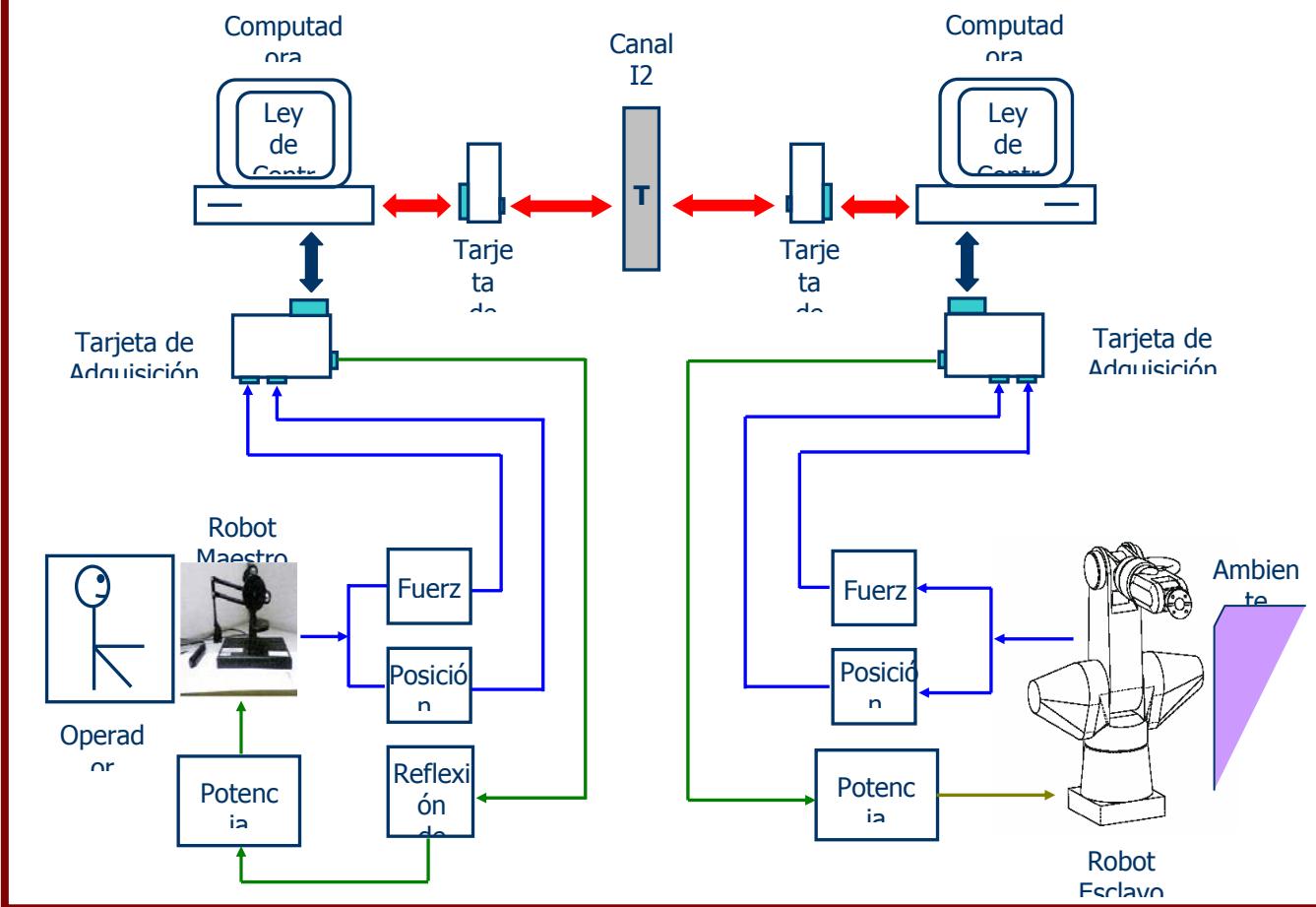


Fig. 4.1 Interconexión de los diferentes bloques que componen al sistema completo.

### 4.2 El display predictivo para la generación de la visión sintética y sistema de realidad aumentada

El display predictivo consta de varios subsistemas, a saber:

- a. El sistema geométrico CAD de todos los componentes que visualizan el laboratorio de la UNAM
- b. El sistema sólido y wireframes cinematico y dinámico físicamente compatible con las restricciones de todo el sistema

- c. El sistema virtual geométrico de los robots UNAM siendo actualizados con datos reales a 9ms
- d. La emulación virtual de las cadenas cinemáticas que muestran el vector de intención de los teleoperadores U. de G. y Cinvestav, simultáneamente
- e. El sistema de visión sintética de toda la estación remota
- f. El sistema de ventanas, ergonómico y funcional
- g. El sistema de video real desde las cámaras de la UNAM, y trilateralmente de los operadores UNAM+Cinvestav+UdG.

De estos subsistemas, ya se tiene terminadas parcialmente las etapas a, b, d y e, con ambiente Java3D.



*Fig. 4.2 Parte del display predictivo: Robot UNAM, basado en el CAD con parámetros reales y asignando restricciones geométricas y dinámicas reales del robot.*

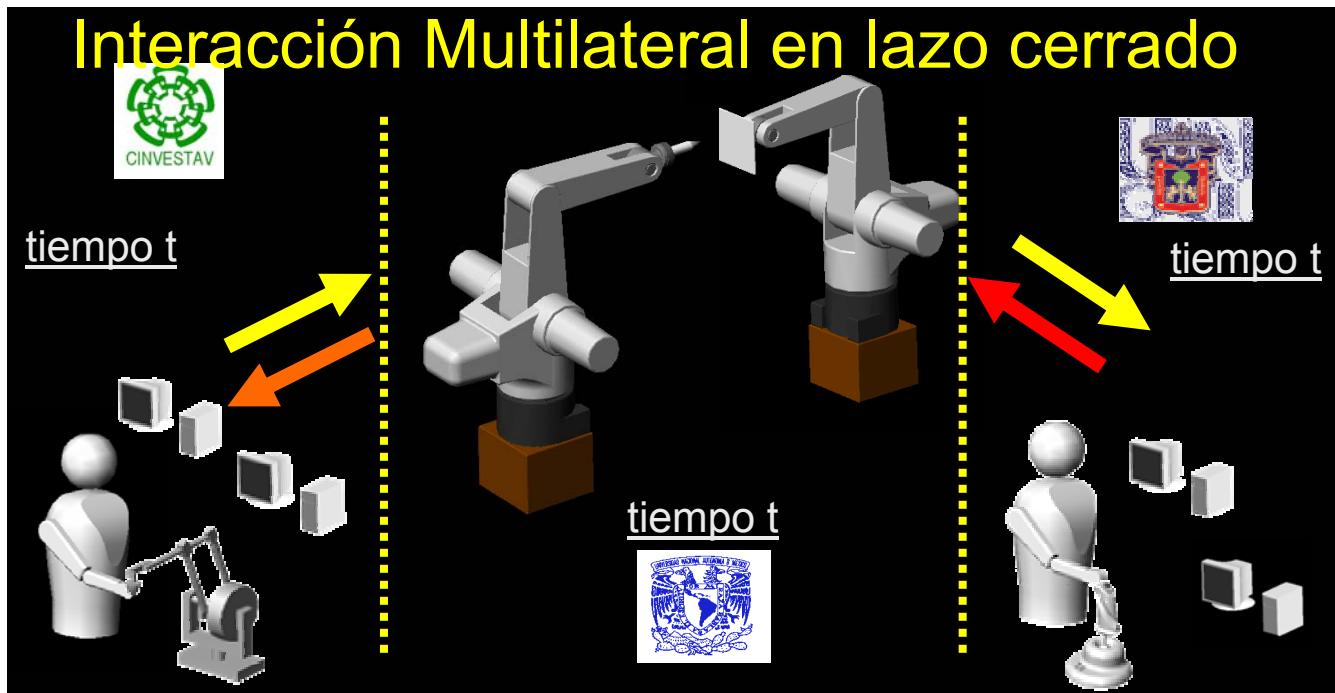
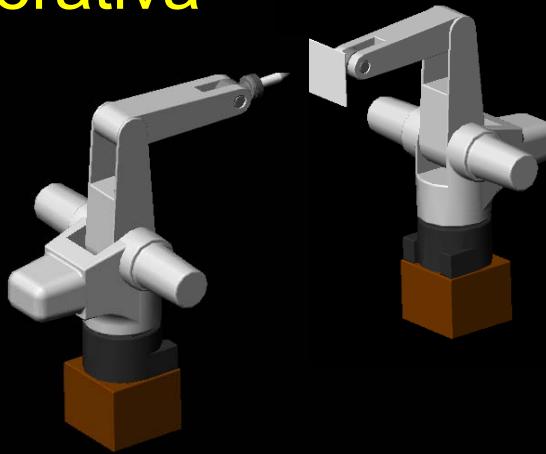


Fig. 4.3 Sistema distribuido en tiempo real sobre Internet2.

Esto es lo que muestra el display predictivo, tanto la visualización científica como la visualización virtual, como realidad aumentada y los vectores de intención de los teleoperadores UNAM y Cinvestav, así como de los dos robot reales de la UNAM. Esto se logra visualizando el vector de velocidad de cada elemento. Por otro lado, ya se tiene funcionando todo esto virtualmente, emulando los diferentes elementos.

## Acción Cooperativa



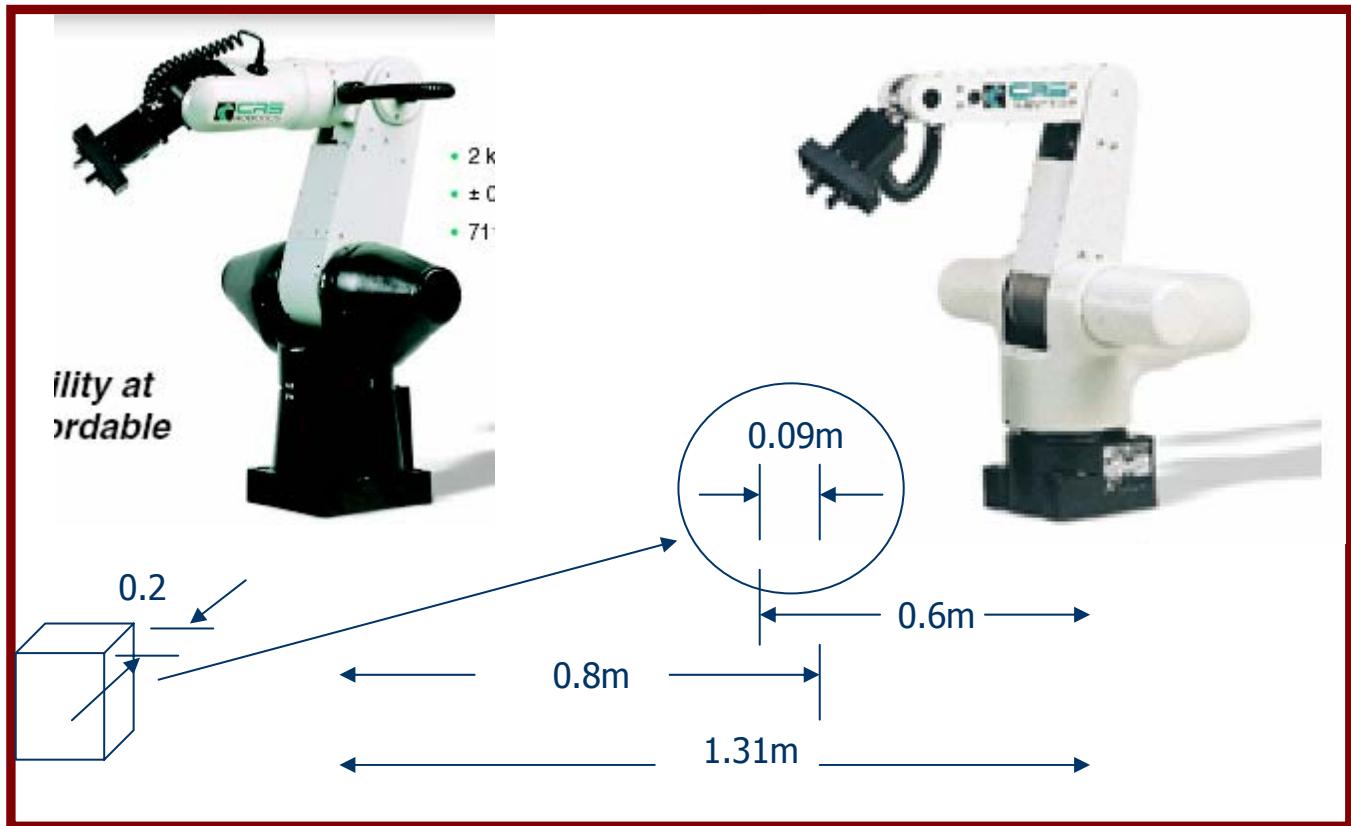
- Control por retroalimentación de fuerza
- Tarea específica: Escribir en una pizarra

Fig. 4.4 Display predictivo mostrando los dos sistemas dinamicos con sus restricciones holonomas.

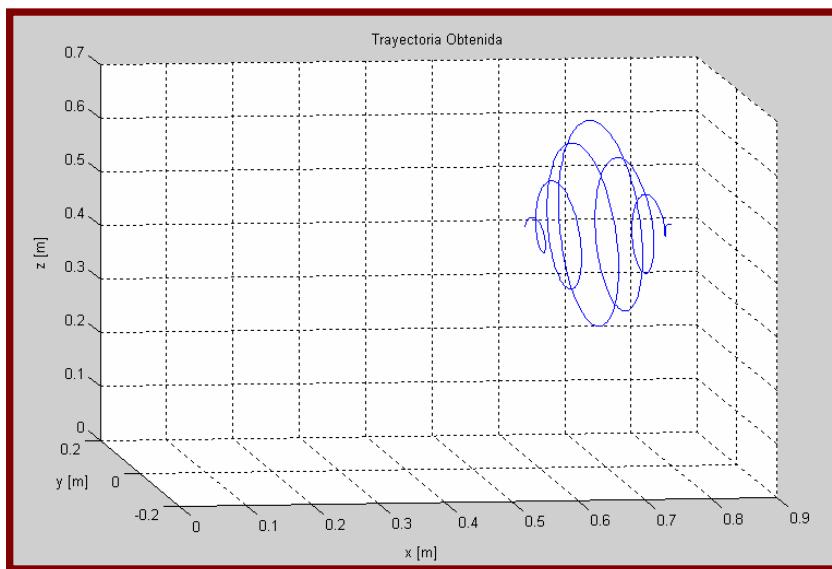
Lo que queda por hacer en los siguientes 6 meses, es terminar de integrar todo el sistema del display predictivo en Java3D, y validar localmente este display en cada estación (UNAM, Cinvestav, y U. de G.). Posteriormente, se depura el sistema para finalmente integrar un solo display predictivo para cada laboratorio, para que cada elemento vea lo mismo que los demás, como si todos estuvieran localmente en un mismo espacio.

### 4.3 Sistema de control y supervisión de los robots de la UNAM

El estudiante de doctorado y asistente de investigación de este proyecto, M. en C. Luis Govinda García tendrá la responsabilidad de la implantación de algoritmos de tele control avanzados para robots rígidos sujetos a restricciones holonomas y sin restricciones, así como en los algoritmos de planeación de trayectorias de la estación remota. También, tendrá a cargo la interfase gráfica de usuario de la estación remota y manejará la estación remota. Es imprescindible que el sistema en lazo cerrado garantice la pasividad y la convergencia del sistema para cualquier condición de operación.



*Fig. 4.5 Robots esclavos con sus dimensiones del espacio de trabajo alcanzable*



*Fig. 4.6 Espacio de trabajo experimental definido por ambos robots.*

Así mismo, trabajara con Juan Carlos, estudiantes de doctorado de la UNAM para integrarar todo el sistema en la UNAM, tambien este ultimo asistente de investigación de este proyecto. Los componentes a desarrollar son

- a. Validación de espacios de trabajo alcanzables
- b. Las interfaces graficas de usuario para el brazo derecho e izquierdo
- c. Integración a la red de Internet 2 de toda la plataforma computacional UNAM
- d. Instalación e GUI de las dos cámaras Pulnix para visión periférica sin oclusión
- e. Sistema de operación de emergencia y home
- f. Estudio teórico y su validación experimental de tele operadores no lineales convergentes para robots rígidos con retroalimentación de fuerza

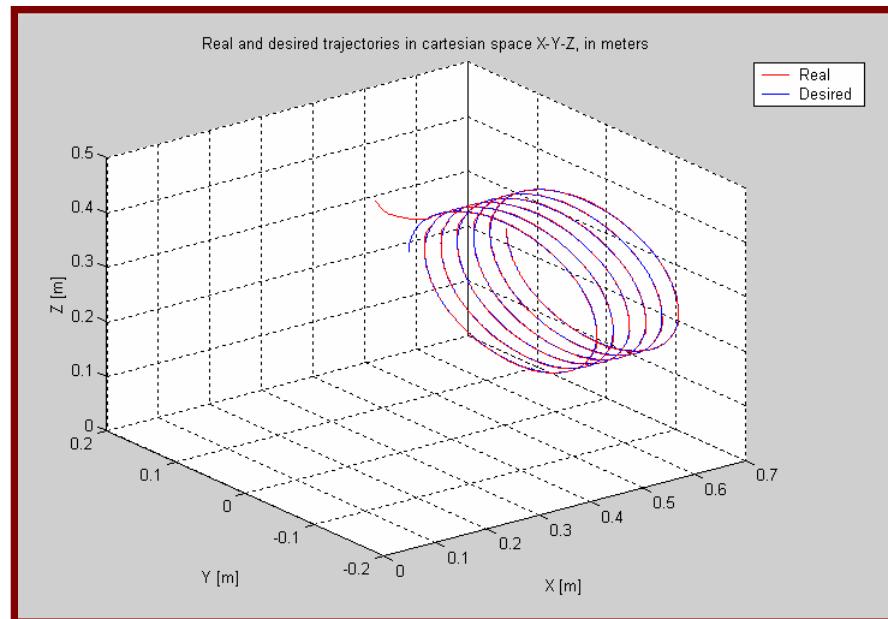


Fig. 4.7 Experimentos preliminares de validación de espacios de trabajo tubulares

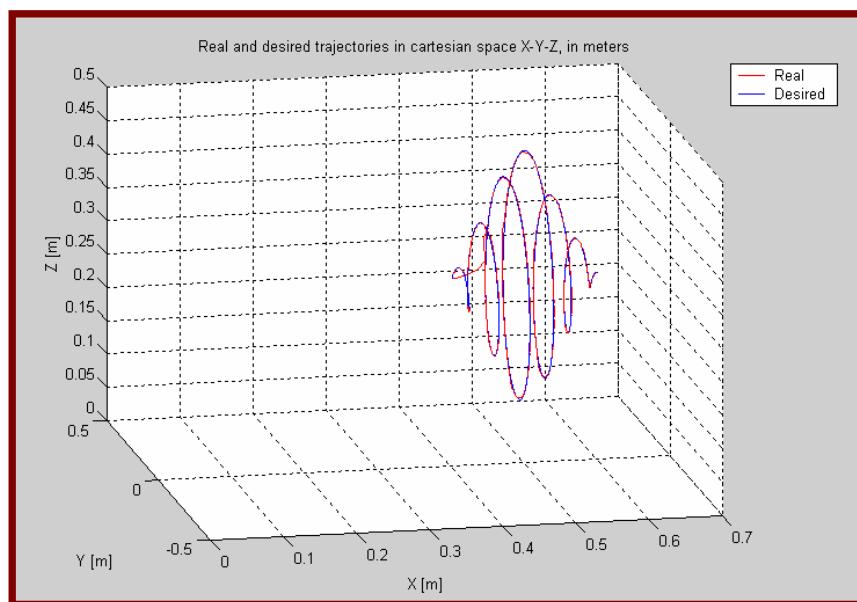


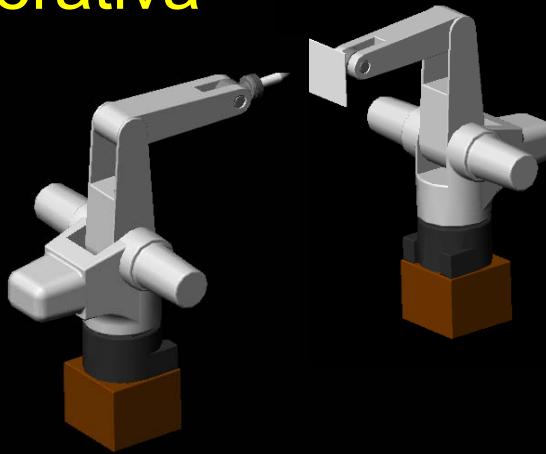
Fig. 4.8 Experimentos preliminares de validación de espacios de trabajo cónicos

Experimentos preliminares de validación en el espacios de trabajo final:

- g. Otros aspectos fundamentales a realizar en la UNAM, por personal tanto de la UNAM como de Cinvestav es la verificación experimental de todos los 7 modos de operación
- h. ¿Cómo se controlarán los robots de la UNAM?
  - Movimiento en el espacio de trabajo alcanzable y libre de singularidades.
  - Sin contacto (régimen de movimiento libre).
  - Movimiento grueso.
  - Con contacto (régimen movimiento restringido)
  - Movimiento fino.
  - Colisión (comutación de regímenes)
  - Movimiento guiado
- i. En movimiento libre.
  - No hay restricciones en el espacio efectivo de trabajo.
  - Espacio efectivo de trabajo: espacio de configuración libre de singularidades, donde el robot puede alcanzar cualquier posición sin que haya problema alguno.
  - Formalismo Euler-Lagrange.
  - Control PID No Lineal
    - Libre de regresor.
    - Modos deslizantes de segundo orden.
    - Continuo, y libre de castaño.
- j. Tiempo de muestreo  $h = 9$  ms.
- k. El control necesita variables articulares.
- l. Pendiente: experimentos. A255.
- m. Existen restricciones en el espacio de trabajo. El robot ya no se puede mover en cualquier dirección.
  - Seguimiento simultáneo de trayectorias de posición y de velocidad sobre la superficie de restricción.
  - La superficie es indeformable.
  - Sistemas DAE.
- n. Control PID no lineal ortogonal.
  - Libre de regresor.
  - Modos deslizantes de segundo orden.
  - Continuo, y libre de castaño.
- o. Un sistema que cambia dinámicamente y por lo tanto su controlador, se vuelve inestable si no existe un control de colisión.
- p. Los impactos pueden llegar a destruir el robot.
- q. Control Grueso:
  - Efecto final “lejos” del pizarrón.
  - Escalamiento adecuado tal que un pequeño movimiento en el maestro represente un movimiento “grande” en el esclavo.
- r. Control Fino:
  - Efecto final “cerca” de la superficie.
  - Impactos menores.

- Escalamiento 1:1.
- s. Se asignan resortes virtuales o cargas eléctricas de repulsión o atracción útiles para:
  - Guiar, el movimiento del robot diestro hacia la superficie.
    - Forma cónica. Evita salirse del espacio de trabajo.
  - Frenar, el movimiento del robot si sobrepasa cierta velocidad.
  - Atrapar, el efecto final en la vecindad de la superficie a fin de evitar cambios de dinámica y por lo tanto de colisiones.
- t. Necesario por motivos de
  - Emergencia.
    - Falta de suministro de energía eléctrica.
    - Inestabilidad a causa de mal manejo en los lados maestro.
    - Referencias fuera del alcance de los robots o que generan singularidad.
  - Reinicializar.
    - Violación de restricciones mecánicas de los robots.
    - Errónea inicialización de condiciones de operación.
  - Stand-Still motion
    - Facultad, desde lado remoto, de fijar en una posición el robot que sostiene el pizarrón.
- u. Se programarán los siguientes. modos de control:
  1. Movimiento libre
  2. Colisión
  3. Semi-autónomo
  4. Emergencia por límites mecánicos
  5. Movimiento Restringido
  6. Movimiento Grueso y fino
  7. Campos potenciales
  - 8.
- v. Es necesario que manden las referencias deseadas de cada h milisegundos. El tiempo de muestro es de  $h = 9$  ms.
- w. De preferencia que sean variables articulares.
- x. Las trayectorias provenientes de CINVESTAV y de UdG serán validadas antes de entrar en la ley de control.

## Acción Cooperativa



- Control por retroalimentación de fuerza
- Tarea específica: Escribir en una pizarra

*Fig. 4.9 Sistema cooperativo bilateral de fuerza: Experimentos preliminares.*

### 4.4 Estación maestra de telé presencia Cinvestav

Sistema de telé presencia para la operación del brazo derecho esta siendo integrada en CINVESTAV. Vía el display predictivo y comunicación visual y auditiva de alto ancho de banda y a 1ms el servo kinestético, se construye la estación de telé presencia para la manipulación hábil remota del robot derecho de la UNAM

Actualmente ya se tiene la interconexión con un modelo de 3 grados de libertad, tanto el caso cinemático como dinámico. El estudiante de doctorado Jorge Méndez tendrá la responsabilidad de integrar la estación te telé presencia basada en la interfase haptica Phantom, la cual se le incorporara gogles estéreo, un Joystick para manejo de la visión real y sintética, y para comunicación con U. de G. y con la UNAM. Será desde esta estación que se manejara el brazo derecho de la estación remota de la UNAM.

Resta por hacer en los siguientes 6 meses, la integración con el display predictivo en realidad virtual aumentada y completamente calibrado, geométrica y dinámicamente, tanto para escalamiento cartesiano de posición y de velocidad como de perspectiva. Además se llevará a la UNAM esta estación para entrenar al operador a manejar el robot derecho, una vez pasada esta etapa se continuará con las pruebas con la interacción multilateral ahí mismo en la UNAM, para finalmente hacerlo descentralizadamente desde la U. de G. y desde Cinvestav.

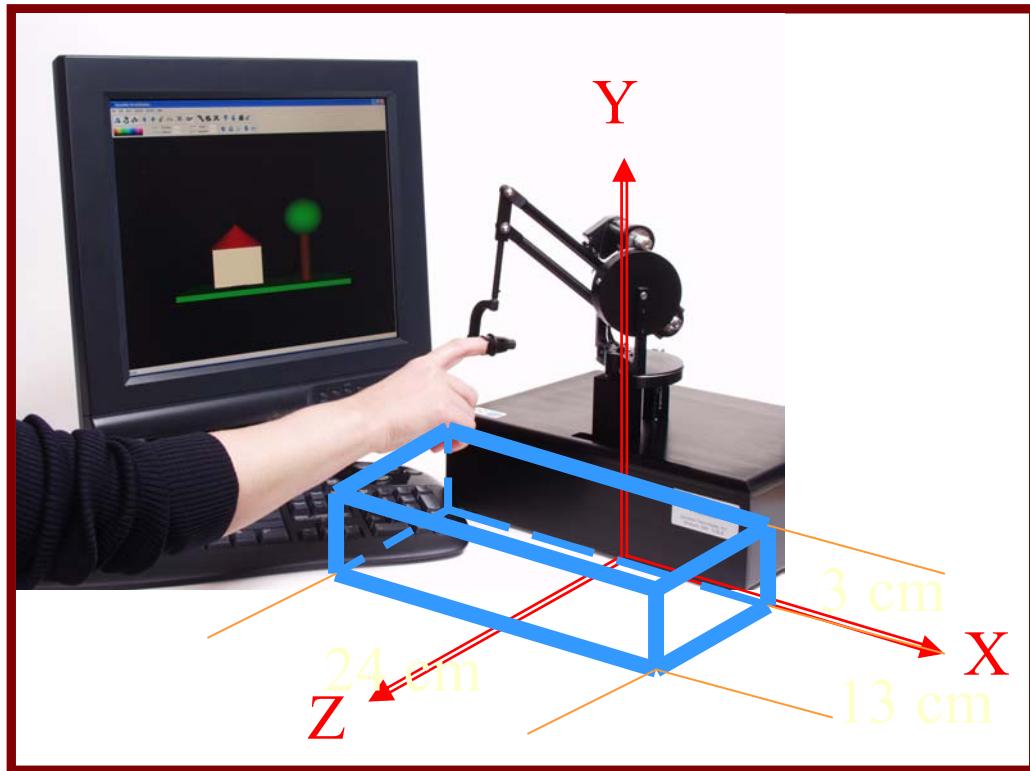


Fig. 4.10 Realización del diseño e integración de la estación multimodal de tele presencia Cinvestav como estación maestra de tele operación, con el Phantom

#### 4.5 Estación maestra simple de telé operación de la Universidad de Guadalajara

El estudiante de doctorado, asistente de investigación de ese proyecto, M. en C. Hassan Ismael Torres Rodríguez tiene la responsabilidad de integrar algoritmos avanzados de fuerza posición en el brazo izquierdo vía la manipulación desde la U. de G. Para tal propósito, se integro un Joystick SideWinder Pro II de Microsoft, y se desarrollo todo el sistema de comunicaciones con Java3D. Actualmente ya se ha desarrollado el sistema de realidad virtual para manipularlo con el Joystick, reportándose como avance un 50% de la estación U. de G. Se tiene operativo el Joystick como estación de telé operación U. de G, sin embargo aun falta configurarlo correctamente de acuerdo a las especificaciones finales del display predictivo y de la estación de entrenamiento del operador que manejara el Joystick en la U. de G. como estación de telé operación.

El Joystick representa una solución económica pero a la vez muy poderosa, ya que se ha logrado escribir y leer a 1ms todos los efectos programables del Joystick, y dado que este sistema es de alta fidelidad y robusto, representa una solución para la integración de la estación U. de G.

El trabajo pendiente aquí es la completa integración con el display predictivo, sobre el sistema computacional de comunicaciones sobre Internet2, además de la correcta comunicación con todos los modos de operación del robot izquierdo de la UNAM, así como el escalamiento y paso de mensajes acondicionados para mejorar la eficiencia de comunicación con la UNAM.

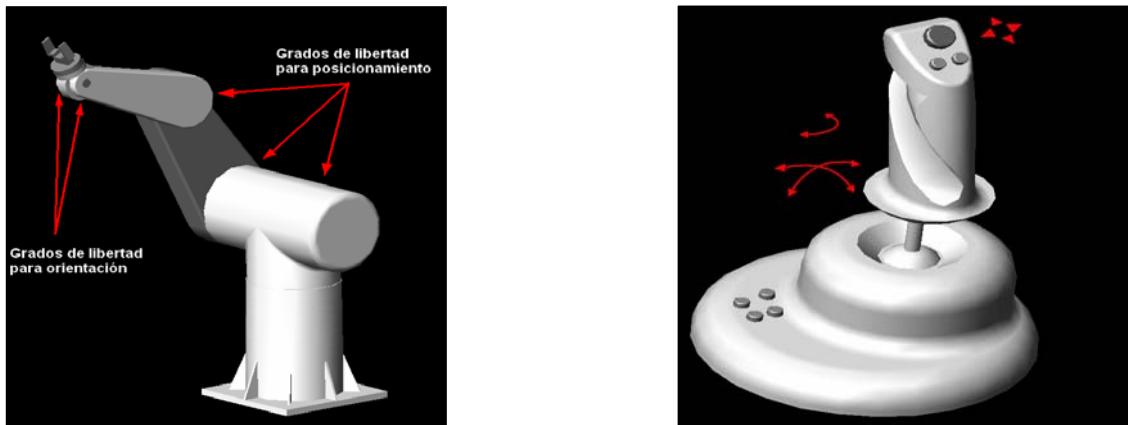


Fig. 4.11 Correlación de los grados de libertad del robot real izquierdo del al UNAM y el robot maestro de la U. de G.

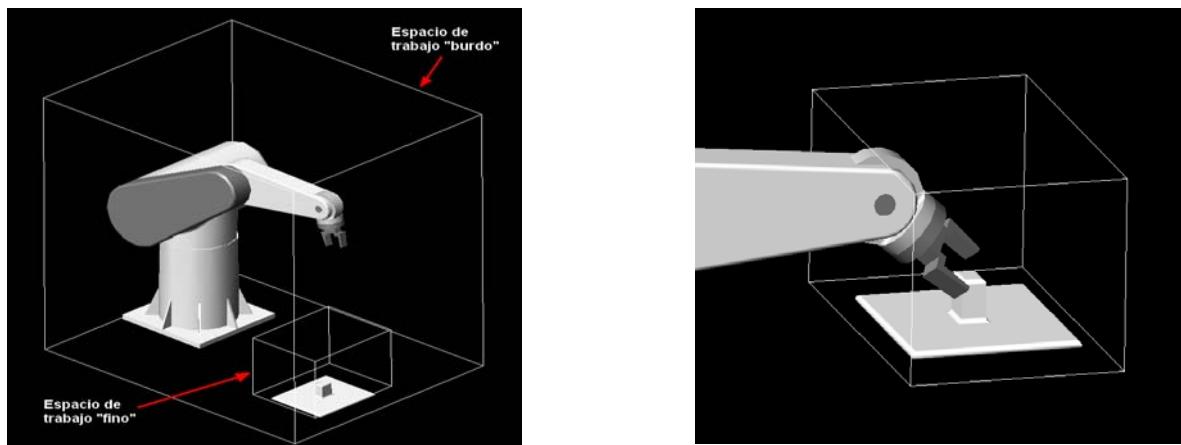


Fig. 4.12 Definición de los modos de operación y control burdo y fino, en donde entra el control por potenciales artificiales guiados y el modo bilateral de tele operación, respectivamente.

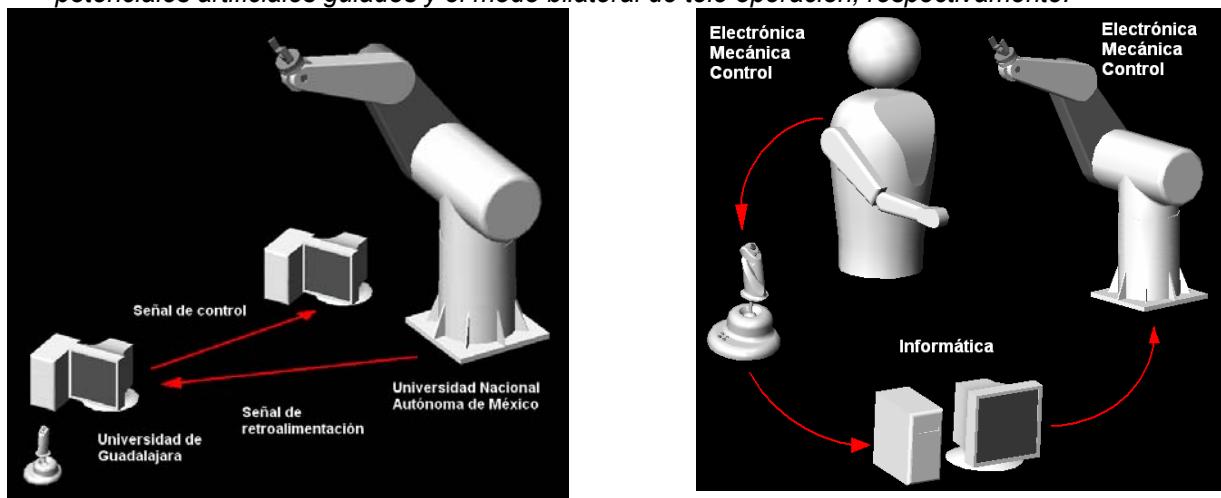


Fig. 4.13 Interacción hombre maquina multiprocesos.

## 5. Estado de la conectividad

Requerimientos de red, de configuración y de demandas específicas del proyecto:

1. Retrasos de transmisión muy pequeños: El retardo es quizás la variable mas crítica para la efectiva realización de la tarea desde el punto de vista que se requieren implementar algoritmos avanzados en el dominio continuo de control simultáneo de fuerza y posición de robots, con al menos un máximo de 10 ms de retardo de las variables de servo y de estimulación kinestética.
2. Baja latencia: La estimulación visual que le llegará a cada usuario debe ser actualizada muy rápidamente dado que estas imágenes deben ser compatibles con la estimulación kinestética que está recibiendo vía las fuerzas de contacto. Sin embargo, los primeros experimentos indican que se incorporan WebCam de baja resolución y no demandaran tanto ancho de banda como se había supuesto originalmente.
3. Conexión permanente multipunto: Serán tres puntos de transmisión simultánea, dos los que están operando los robots (CINVESTAV y UdG). Se tendrá conexión simultánea de los canales de visión, auditivos y kinestéticos.
4. Enrutamiento diferenciado: Se requieren canales diferenciados para jerarquizar, y asegurar calidad de servicio de las variables de control, sensado, monitoreo y supervisión de la tarea. Así también se implementara un sistema de manejo de conflictos de todos los niveles por medio de técnicas de eventos discretos.

El calculo inicial del ancho de banda requerido indispensable para poder interconectar todos los subsistemas indica la necesidad de contar con al menos 12 Mb/s, con la posibilidad de exigir hasta 23 MB/s para la conexión de los sistemas supervisores periféricos no indispensables, *una vez que se tienen entrenados a los operadores de las estaciones*. Es decir, inicialmente este proyecto requiere un enlace por al menos 1 mes que garantice 23 MB/s, posteriormente, se desconectaran algunos equipos y se necesitaran al menos 12 MB/s de conexión permanente por un par de meses. Al respecto se esta negociando todavía la interconexión de las laboratorios participantes de un enlace tipo E3 a Internet cuya velocidad máxima de conexión es de 34 Mbps.

El estado de conectividad por institución es el siguiente:

- **Cinvestav**: Al día de se tiene conectividad del laboratorio participante con un enlace E1 con la UNAM para las primeras pruebas locales de tele operación y visión sintética. Sin embargo, esto no será suficiente para las pruebas completas y finales, y aun se esta negociando salir por un enlace E3 vía el backbone del IPN, lo cual se prevé que será 100% operativo a fines de este año, y Cinvestav no tendría restricciones de ancho de banda vía I2.
- **U. de G.**: Se tiene operativo el nodo de I2 en CUCREA, la unidad de la U. de G. que provee y administra Internet a la U. de G. Así mismo, ya se tienen habilitados aplicaciones nativas en IPv6. Para los experimentos de este proyecto se improvisara un laboratorio en esas instalaciones con todas las facilidades.
- **UNAM**: Se está llevando a cabo la compra del switch y los cables necesarios para conectar Internet II directamente en el laboratorio. Se espera que estén listos este año.

## 6. Reporte del ejercicio presupuestal

### 6.1 Nombre de la institución: CINVESTAV

**NOTA IMPORTANTE:** La información aquí presentada NO es del todo exacta, la genere a partir del archivo que llevo del proyecto, pero NO de las facturas actuales. Así que esta información puede diferir en poco de las facturas reales. La razón de esto es que actualmente me encuentro en sabático, NO en Cinvestav, y el codirector del proyecto está de viaje en el extranjero desde hace 3 semanas.

✓ *El presupuesto original solicitado es el siguiente:*

**Salarios: 54,720 pesos**

Complemento de 1 salario mínimo por los 12 meses del proyecto a 3 estudiantes de doctorado y uno de maestría. Este monto, mas bien simbólico pero establece un compromiso adicional de los estudiantes al proyecto, corresponde a la mitad de lo que se les da como complemento a tesistas de licenciatura en proyectos CONACYT. Los tesistas de doctorado trabajan en temas afines y complementarios a este proyecto.

**Prestaciones Empleados:** No se solicitan recursos

**Suministros: 50,280 pesos**

- ✓ \$ 7,500 pesos para dos monitores de 19": Estaciones del robot haptico que manejará el brazo derecho, y la estación de monitoreo y supervisión. Se requieren al menos 5 ventanas para desplegar graficas en tiempo real.
- ✓ \$ 3,595 pesos para una tarjeta Studio Delux Pinnacle: Edición de video
- ✓ \$ 5,820 pesos para seis no/break de todas las computadoras personales que se dedicaran al proyecto (3 estudiantes de doctorado y 1 de maestría, así como 2 de servicio social)
- ✓ \$ 1,180 pesos para un scanner: Auxiliar en el proceso de implantación de los algoritmos de visión y cámara sintéticas
- ✓ \$ 4,436 pesos para una impresora B/N laser: Apoyo de impresión usual
- ✓ \$ 1,760 pesos para una impresora a color de bajo desempeño: Generación de material visual para análisis, conferencias, reportes internos
- ✓ \$ 4,225 pesos para una video cámara económica: Apoyo de vídeo grabación de los experimentos
- ✓ \$ 500 pesos para una WebCam de baja resolución:
- ✓ \$ 20,264 pesos para componentes electrónicos y actualización de PC's

**Servicios: 30,000 pesos**

El nodo de Internet 2 se encuentra operativo en una sala de computo, sin embargo es necesario instalarlo en el Laboratorio, el cual está localizado en otro edificio a una distancia aproximada de 200 metros. De acuerdo a cotización.

**Viajes: 40,000 pesos**

Se plantean 4 viajes a la ciudad de Guadalajara de una semana cada uno con los siguientes propósitos:

Viaje 1: Seminario de 1 semana con el grupo de trabajo de Guadalajara y de la UNAM acerca del tema tecnológico y científico de robots cooperativos del proyecto por 2 profesores de CINVESTAV, a un costo de 10,000 pesos los 7 días, incluye todo. La temática del seminario abordara todos los aspectos necesarios para lograr el objetivo del proyecto, remarcando que las especialidades de los responsables son más complementarias y este seminario es indispensable para disseminar a todos los participantes todos los datos técnicos y científicos de todos y cada uno de los subsistemas.

Viaje 2: Seminario de 1 semana acerca de modelado de robots, control de teleoperadores, visualización sintética de cadena cinemática abierta y cerrada por 1 profesor de CINVESTAV, a un costo de 10,000 pesos los 7 días, incluye todo.

Viaje 3: Experimentos finales durante 1 semana por 1 profesor de CINVESTAV, a un costo de 10,000 pesos los 7 días, incluye todo

**Otros Costos :** No se solicitan recursos

✓ **Y el ejercicio presupuestal aproximado es el siguiente:**

#### Anexo 4

#### Comprobación erogaciones del presupuesto otorgado para el Proyecto.

**a) Datos del Estudiante:**

a-1) Nombre	a-2) Especialidad	a-3) Apoyo otorgado \$		a-4) Descripción de su función dentro del proyecto.
		Importe mensual	Acumulado	
Emmanuel Dean Leon	Doctorado	1140	7980	Es responsable de display predictivo para la generación de la visión sintética y sistema de realidad aumentada.
Luis G. Garcia Valdovinos	Doctorado	1140	7980	Es responsable del sistema de control y supervisión de los robots de la UNAM
Jorge A. Mendez Iglesias	Doctorado	1140	7980	Es el responsable del sistema robótico e integración que conforma la estación maestra de Cinvestav
Hassan I. Torres Rodriguez	Doctorado	1140	7980	Es el responsable del sistema robótico e integración que conforma la estación maestra de la Universidad de Guadalajara
		Total	31920	

**b) Servicios:**

<b>b-1) Concepto</b>	<b>b-2) Cantidad</b>	<b>b-3) Importe</b>		<b>b-4) Función o aplicación dentro del proyecto</b>
		<b>Importe Unitario</b>	<b>Importe Total</b>	
Mantenimiento, pruebas y generación del reporte técnico de la red del Laboratorio de Robotica y Mecatrónica		13480	13480	Acondicionamiento técnico y puesta en marcha de la red Internet 2
		<b>Total</b>	13480	

**Nota:** Se esta solicitando el Comité Ejecutivo de CUDI una transferencia de 16,520 pesos, inicialmente autorizados en el rubro de “Servicios”, al rubro de “Suministros”, para la compra de componentes electrónicos para la integración de al menos 1 robot Mitsubishi en Cinvestav. Esto permitirá la validación in-situ de todo el sistema y desarrollo de algoritmos de inmersión de presencia local.

**c) Suministros:**

<b>c-1) Concepto</b>	<b>c-2) Cantidad</b>	<b>c-3) Importe</b>		<b>c-4) Función o aplicación dentro del proyecto</b>
		<b>Importe Unitario</b>	<b>Importe Total</b>	
Tarjeta Studio Delux Pinnacle	1	\$ 1,550	\$ 1,550	Tarjeta para digitalizar videos para análisis y generación de material audiovisual.
No/break	1	\$ 5,600	\$ 5,600	3 reguladores y 3 no-break para el sistema de protección de la acometida eléctrica, debido al pésimo estado de la red eléctrica de Cinvestav.
HP Office 1300	1	\$ 4,299	\$ 4,299	Apoyo de impresión en blanco y negro del laboratorio
Impresora a color	1	\$ 999	\$ 999	Apoyo de impresión a color para el análisis y generación de material audiovisual final
Video cámara	1	\$ 5,000	\$ 5,000	Apoyo de video grabación de los experimentos preliminares, finales y el sistema de entrenamiento remoto.
2 monitores de 19"	1	\$ 5,514	\$ 5,514	Visualización del sistema display predictivo.
Scanner	1	\$ 1,280	\$ 1,280	Para el apoyo de intercambio y digitalización de material impreso.
WebCam	1	\$ 426	\$ 426	Cámara de intercomunicación de la estación de tele presencia.
Componentes	1	\$ 27, 532	\$ 27, 532	Actualización de 4 computadoras para los 4 asistentes de investigación del proyecto.
		<b>Total</b>	<b>52,200</b>	

**Reporte Intermedio del Proyecto "Interacción Multilateral vía Internet con Robots Cooperativos" de la Convocatoria CUDI 2003 Aplicaciones Avanzadas que Utilicen la red Internet2**

**d) Viajes realizados:**

d-1) Personal que viaja	d-2) Días	d-3) Importe		d-4) Motivo del viaje y función para el desarrollo del proyecto.
		Importe por P.	Importe Total	
Viáticos (avión) para ir a Univ. de Guadalajara (Emmanuel Dean Leon, Luis G. Garcia Valdovinos, Jorge A. Mendez Iglesias, Hassan I. Torres Rodriguez, Francisco Ruiz Sanchez, Vicente Parra Vega)	11,448		11,448	Primer seminario del proyecto: presentación durante 3 días, con sesiones hasta de 12 horas al día de reuniones de trabajo técnicas de los 11 temáticas del proyecto
Viáticos (comidas) para ir a Univ. de Guadalajara ((Emmanuel Dean Leon, Luis G. Garcia Valdovinos, Jorge A. Mendez Iglesias, Hassan I. Torres Rodriguez, Francisco Ruiz Sanchez, Vicente Parra Vega))	1,928		1,928	Primer seminario del proyecto: presentación durante 3 días, con sesiones hasta de 12 horas al día de reuniones de trabajo técnicas de los 11 temáticas del proyecto
Viáticos (hotel) para ir a Univ. de Guadalajara (Emmanuel Dean Leon, Luis G. Garcia Valdovinos, Jorge A. Mendez Iglesias, Hassan I. Torres Rodriguez, Francisco Ruiz Sanchez, Vicente Parra Vega)	5,175		5,175	Primer seminario del proyecto: presentación durante 3 días, con sesiones hasta de 12 horas al día de reuniones de trabajo técnicas de los 11 temáticas del proyecto
Viáticos (hotel, gasolina + cassetas, y comida) para ir a Univ. de Guadalajara (Emmanuel Dean Leon y Hassan I. Torres Rodriguez)	5,972		5,972	Integración de ambiente CAD del laboratorio de la UNAM desarrollado por Cinvestav con el sistema Java3D desarrollado por la Univ. de Guadalajara
Viáticos (hotel, pasajes, y comidas) para ir a la Reunión de Otoño 2003 (Emmanuel Dean Leon, Luis G. Garcia Valdovinos, Jorge A. Mendez Iglesias, Francisco Ruiz Sanchez)	2,000		2,000	Presentación del avance del proyecto
		<b>Total</b>	<b>26,523</b>	

## **6.2 Nombre de la institución: U de G**

### **✓ El presupuesto original solicitado es el siguiente:**

#### **Salarios: \$48,000.00**

Complemento de 2,000.00 pesos por 12 meses a dos estudiantes de la maestría en Tecnologías de Información de la UdeG. Dichos estudiantes no cuentan con beca (la maestría no ingresa todavía al padrón de excelencia del CONACYT) y este complemento es para ayudarlos para que puedan estar de tiempo completo.

#### **Prestaciones Empleados:**

No se solicitan recursos

#### **Suministros: \$42,000.00**

- ✓ \$4436.00 Impresora Láser Blanco y Negro para apoyo de impresión usual y documentación del proyecto
- ✓ \$1760.00 Impresora a color de bajo desempeño para la generación de material visual de análisis, conferencias y documentación
- ✓ \$1000.00 webcams(2 unidades) de baja resolución para cooperación remota con México e integración a proyecto.
- ✓ \$2,000.00 No breaks (2 unidades) para protección de estaciones de trabajo.
- ✓ \$17,000.00 Lentes de visión estereoscópica con adaptador y emisor para visualización 3D de estación de teleoperación.
- ✓ \$15,804.00 Componentes para actualización de dos estaciones PC de trabajo (Monitor 21”, tarjeta gráfica, quemador, memoria).

#### **Servicios:**

No se solicitan recursos

#### **Viajes: 10,000.00**

Un viaje a la Ciudad de México de 3 días, 4 personas para visita de colaboradores en el Cinvestav y la UNAM, incluye todo.

#### **Otros Costos**

No se solicitan recursos

✓ **Y el ejercicio presupuestal es el siguiente:**

#### Anexo 4

#### Comprobación erogaciones del presupuesto otorgado para el Proyecto.

**a) Datos del Estudiante:**

a-1) Nombre	a-2) Especialidad	a-3) Apoyo otorgado \$		a-4) Descripción de su función dentro del proyecto.
		Importe mensual	Acumulado	
Martha Elena Zavala Villa	Sistemas de información	\$ 2,000.00	\$ 16,000.00	Desarrollo de la interfaz gráfica para la comunicación multilateral
Salvador Ramírez Paz	Sistemas computacionales	\$ 2,000.00	\$ 16,000.00	Desarrollo de los protocolos de comunicación
Martha Patricia Martínez Vargas	Sistemas de información	\$ -	\$ -	Desarrollo de la plataforma de calidad de servicio para la comunicación multilateral vía Internet 2
<b>\$ 32,000.00</b>				

d-1) Personal que viaja	d-2) Días	d-3) Importe		d-4) Motivo del viaje y función para el desarrollo del proyecto.
		Importe por P.	Importe Total	
Martha Elena Zavala Villa	3	\$1 935.8	\$9 679.00	Presentar los avances alcanzados hasta el mes de Agosto y planear las actividades necesarias para el desarrollo de las posteriores etapas del proyecto.
Martha Patricia Martínez Vargas	3	\$1 935.8		
Salvador Ramírez Paz	3	\$1 935.8		
Víctor Manuel Larios Rosillo	3	\$1 935.8		
María Elena Meda Campaña	3	\$1 935.8		
<b>\$9 679.00</b>				

**e) Otros:**

e-1) Concepto	e-2) Cantidad	e-3) Importe	e-4) Función o aplicación dentro del proyecto

*Reporte Intermedio del Proyecto “Interacción Multilateral vía Internet con Robots Cooperativos” de la Convocatoria CUDI 2003 Aplicaciones Avanzadas que Utilicen la red Internet2*

		<b>Importe Unitario</b>	<b>Importe Total</b>	
Joystick	1	\$	\$ -	Necesario para la teleoperación de un robot via Internet 2
Impresora	1	\$ 3,710.00	\$ 4,266.50	Impresión de todos los documentos relacionados con el proyecto
Nobreak	2	\$ 1,633.00	\$ 3,266.00	Protección del equipo de computo requerido para el desarrollo del proyecto.
<b>\$ 7,532.50</b>				

## **6.3 Nombre de la institución: UNAM**

### **✓ El presupuesto original solicitado es el siguiente:**

#### **Salarios: \$41,040.00**

Complemento de 1 salario mínimo por los 12 meses del proyecto a 1 estudiante de doctorado y dos de maestría. El monto establece un compromiso adicional de los estudiantes con el proyecto y corresponde a la mitad de lo que se les da como complemento a tesistas de licenciatura en proyectos CONACYT. El tesista de doctorado trabaja en temas afines y complementarios a este proyecto.

#### **Prestaciones Empleados: \$00.00**

#### **Suministros: \$36,960.00**

En esta partida se incluyen gastos diversos para adecuar los robots del Laboratorio de Robótica de la División de Estudios de Posgrado de la Facultad de Ingeniería de la UNAM a las necesidades de los experimentos que se esperan llevar a cabo. Específicamente se piensa en gastos relativos al material utilizado para fijar cámaras, equipo electrónico, fabricación de objetos para experimentos y distintas herramientas que serán montadas en los efectores finales de los robots. En particular, los primeros gastos previstos incluyen

- ✓ \$415.70 para un minitaladro con esmeril Pro's kit
- ✓ \$3,630.80 para un Fluke-179 con paquete eléctrico
- ✓ \$1,816.40 para un maletín con herramienta diversa
- ✓ \$1,300.00 para un Estación Weller con control de temperatura 60W
- ✓ \$4,850.00 para cinco no/break de todas las computadoras personales que se dedicaran al proyecto (2 estudiantes de doctorado y 3 del Laboratorio de Robótica de la DEPFI)
- ✓ \$4,436.00 para una impresora B/N laser: Apoyo de impresión
- ✓ \$1,760.00 para una impresora a color de bajo desempeño: Generación de material visual para análisis y conferencias
- ✓ \$500.00 para una WebCam de baja resolución

#### **Servicios: \$00.00**

#### **Viajes \$20,000.00**

Se planean dos viajes, para los que se solicita \$10,000 para cada uno.

Viaje 1. Se solicitan pasajes y viáticos para la Ciudad de Guadalajara con el fin de discutir y coordinar el control remoto que se realizará desde esta ciudad de los robots ubicados en la UNAM.

Viaje 2. Del 15 al 17 de octubre del presente año se planea asistir al congreso nacional organizado por la Asociación de México de Control Automático en Ensenada, Baja California, con el fin de difundir los resultados obtenidos en el proyecto. Asimismo, se espera tener la oportunidad de discutir sobre el área de investigación con algunos de los mejores profesores a nivel nacional.

#### **Otros Costos \$2,000.00**

Se solicitan \$2,000.00 para pago de la inscripción al congreso del inciso anterior.

NOTA: Es el único viaje para congreso que se solicita en todo el proyecto.

**✓ Y el ejercicio presupuestal es el siguiente:**

**d) Viajes realizados:**

d-1) Personal que viaja	d-2) Días	d-3) Importe		d-4) Motivo del viaje y función para el desarrollo del proyecto.
		Importe por P.	Importe Total	
Marco Antonio Arteaga Pérez	5 y 6 de junio del 2003	\$404.00	\$404.00	Reunión de trabajo en la Ciudad de Guadalajara
Marco Antonio Arteaga Pérez	14 al 19 de octubre del 2003	\$11,378.60	\$11,378.60	Asistencia al Congreso Nacional de Control Automático que tuvo lugar en la Ciudad de Ensenada, Baja California. Se mostraron resultados de un sistema de control de fuerza que es la base de los algoritmos de control que se piensa utilizar en el proyecto.

**e) Otros:**

e-1) Concepto	e-2) Cantidad	e-3) Importe		e-4) Función o aplicación dentro del proyecto
		Importe Unitario	Importe Total	
Pago de inscripción al Congreso Nacional de Control Automático	1	\$2,000.00	\$2,000.00	Poder mostrar resultados de un sistema de control de fuerza que es la base de los algoritmos de control que se piensa utilizar en el proyecto.

## 7. Conclusiones y perspectivas

### 7.1 Conclusiones

El avance técnicos reportados por los tres equipos de trabajo en los diversos subcomponentes que integran el presente proyecto indican que los primeros resultados experimentales completos serán realizados a mediados de enero, teniendo un par de meses para corregir detalles y finalmente realizar las pruebas finales en marzo y abril.

Se tendrá una plataforma experimental operativa que satisface el objetivo principal del proyecto

*“Manipulación cooperativa multiusuario de objetos localizados en ambientes remotos con retroalimentación bilateral de fuerza convergente, en un esquema disipativo en lazo cerrado, con estímulo visual y auditivo”*

mediante la integración sinérgica de un solo grupo de trabajo integrado por participantes de tres instituciones. Se cuenta además con la participación de 5 tesis doctorales y 3 de tesis de maestría, con el correspondiente apoyo mensual por parte del proyecto.

Así mismo, el documento presenta la actualización del ejercicio presupuestal y se hace un reconocimiento a la eficiente manejo del proyecto por parte de CUDI y de las autoridades administrativas que ha hecho transparente para los participantes ese responsabilidad.

### 7.2 Perspectivas

Se prevé la cumplir con los entregables enunciados en el proyecto, a saber:

a. Formación de recursos humanos:

Prometido: Dirección de 3 tesis de doctorado y 1 de maestría en el CINVESTAV

Resultado: Participan 4 tesis de doctorado de Cinvestav, 2 de maestría y 1 de licenciatura de la U. de G., y 1 de doctorado de la UNAM

b. Desarrollo de Infraestructura:

Prometido: Se integrara una estación distribuida de cooperación multirobots, la cual involucra 3 laboratorios en dos ciudades de México. Se integrara así mismo un dominio distribuido para conectar todas las PC que estén colaborando el proyecto, así como se pondrá a disposición de los participantes de los tres laboratorios involucrados todos los equipos y componentes de sistema

Resultado: Ya esta en operación las dos estaciones maestras en Cinvestav y en U. de G., así como el laboratorio de la UNAM. También, esta integrado un dominio distribuido, aun en etapa de validación.

c. Diseminación del conocimiento:

Prometido: Se participara en conferencias de prestigio internacional y se publicaran al menos 2 artículos en revista de prestigio

Resultado: Se esta preparando el manuscrito para una conferencia de primer nivel (IEEE/RSJ International Robotics and Intelligent Systems). Posteriormente, ya cuando

d. Clases y seminarios:

Prometido: Se iniciara una clase opcional en postgrado del CINVESTAV en la temática de teleoperadores, y se organizara dos seminarios de investigación en la UdG

Resultado: Se han realizado 3 seminarios con la participación de los 5 investigadores y los 8 asistentes de investigación

e. Material impreso, electrónico y audiovisual:

Prometido: Se creara una pagina web en donde será de dominio publico todo el material impreso, electrónico y audiovisual que se genere en este proyecto

Resultado: Se ha creado una pagina web de dominio publico, y esta disponible en la misma las 18 presentaciones de los 3 seminarios del proyecto que hemos llevado a cabo, y la presentación de la Reunión Otoño 2003.

Además se esta trabajando para que los resultados del proyecto, pero sin afectar en lo absoluto el objetivo y metas de este proyecto, en aprovechar la infraestructura y conocimientos generados en este proyecto para las tesis y la preparación de artículos científicos y de divulgación.