

**DESARROLLO DE UN SERVICIO PARA LA ADQUISICIÓN REMOTA DE  
DATOS DEL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA DEL LABORATORIO DE  
ÓPTICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**GONZALO NICOLAS DIAZ TORRES**

**MILENA JAEL SILVA MORALES**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FÍSICO-MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA  
2011**

**DESARROLLO DE UN SERVICIO PARA LA ADQUISICIÓN REMOTA  
DE DATOS DEL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA  
DEL LABORATORIO DE ÓPTICA DE LA  
UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER**

**GONZALO NICOLAS DIAZ TORRES**

**MILENA JAEL SILVA MORALES**

**Trabajo de grado para optar al título de ingeniero de sistemas**

**Director**

**PhD. ARTURO PLATA**

**Profesor de la Escuela de Física de la UIS**

**Codirector**

**MsC. PEDRO JAVIER TRUJILLO TARAZONA**

**Profesor de la Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD FÍSICO-MECÁNICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE SISTEMAS E INFORMÁTICA  
BUCARAMANGA  
2011**

A toda mi familia, en especial a mis padres Jorge Ernesto Diaz Nuñez y Claudia Viviana Torres Alvarez quienes son un pilar en mi vida y me brindan su apoyo incondicional en todo momento, a mis hermanos María Alejandra Díaz Torres y Jorge Ernesto Diaz Gomez, quienes me dan todo su amor y me acompañan en momentos de vital importancia.

A Omar Álvarez Vera y en general a todo el Teatro UIS por las enseñanzas y experiencias que me permitieron formarme como un profesional integral.

A Diana Patricia García Uribe quien me acompañó durante estos 5 años de estudio y dedicación, que me acompañó en los momentos difíciles y me brindó todo su apoyo para querer seguir adelante.

A compañeros de carrera que de una u otra manera estuvieron presentes en mi formación como profesional, y en mi formación personal.

A mis amigos que aunque no compartimos tanto tiempo como quisiéramos, me apoyaron en los momentos difíciles, en los momentos realmente importantes.

Finalmente a Milena Jael Silva mi compañera de proyecto, quien nunca dudo ni del proyecto ni de mi y siempre se mostro como una persona comprensiva.

**GONZALO NICOLAS DIAZ TORRES**

Dedicado a Jesús Misericordioso quien hace todo posible.

A mis padres Bernarda Morales Vanegas y Gerónimo Silva Tirado por todo lo que me han dado en esta vida, por su apoyo y cuidado incondicional, por su paciencia, por su amor, por enseñarme a enfrentar las adversidades con alegría, a confiar en Dios, por los momentos compartidos, por estar conmigo a pesar de la distancia y de las dificultades.

A mis hermanos Adriana, Gerónimo y Vannessa por su cariño y porque siempre cuento con ellos.

A mis abuelas Alejandrina Vanegas, Bertha Tirado y Aurora de la Hoz; a mis tíos Alix Morales, Nurys Morales, Gabriel Flores, Beatriz flores quienes siempre cuidan de mí con sus oraciones y buenos deseos que guardo en mi corazón.

Al grupo de la renovación carismática "Jesús yo Confío en ti" por todas las oraciones que han hecho en mi nombre.

Y a mi compañero Gonzalo por todo su esmero para realizar este proyecto.

**MILENASILVA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradecemos a Dios Todopoderoso y a nuestras familias por enseñarnos a luchar, por acompañarnos incondicionalmente, por motivarnos a seguir adelante, por brindarnos confianza, ayuda, apoyo y fortaleza.

Al profesor Carlos Jaime Barrios Hernández por su importante y valiosa ayuda y orientación para la realización de este proyecto.

A los profesor Arturo Plata y Pedro Trujillo por la ayuda y el apoyo Brindado durante la realización de este proyecto.

Al Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales de la UIS por facilitarnos y colaborarnos con el uso del Microscopio de Fuerza Atómica para la realización del proyecto. Del mismo modo a Carolina Mendoza Luna, Martha Isabel Jerez y Luz Dary Morantes por su continua colaboración durante las pruebas de usabilidad y sus explicaciones para entender las necesidades del GOTS en cuanto a acceso remoto del AFM.

Pablo Miguel Basto Rivera, a Javier Velandia y Edwin Ordoñez del Centro de Tecnologías de Información y Comunicación (CENTIC) de la Universidad Industrial de Santander por su gran y valiosa colaboración con el TurboMeeting y con toda la logística necesaria (cámaras, micrófonos, tablero inteligente) durante las pruebas de aceptabilidad y usabilidad de la solución implementada.

A la Universidad Industrial de Santander por educarnos hacernos profesionales y a todas aquellas personas que de una u otra forma, colaboraron o participaron en la realización de esta investigación, a ellas extendemos nuestros más sinceros agradecimientos.

# CONTENIDO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>INTRODUCCIÓN</b> .....   | <b>21</b> |
| <b>1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO</b> .....  | <b>22</b> |
| 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....   | 22        |
| 1.2 OBJETIVOS.....  | 24        |
| 1.2.1 <i>Objetivo general</i> .....   | 24        |
| 1.2.2 <i>Objetivos específicos</i> .....  | 24        |
| 1.3 JUSTIFICACIÓN.....  | 25        |
| 1.4 LIMITACIONES .....  | 26        |
| <b>2. MARCO REFERENCIAL</b> .....   | <b>27</b> |
| 2.1 ACCESO REMOTO .....   | 27        |
| 2.1.1 <i>Acceso remoto a través de software y protocolos</i> .....                                | 27        |
| 2.1.2 <i>Acceso remoto a través de soluciones hardware-software</i> .....                         | 29        |
| 2.2 MICROSCOPÍA: DEFINICIÓN E HISTORIA .....  | 29        |
| 2.3 MICROSCOPÍA DE FUERZA ATÓMICA.....  | 31        |
| 2.3.1 <i>Principios de funcionamiento del AFM</i> .....   | 32        |
| 2.3.2 <i>Los modos de trabajo del AFM</i> .....   | 34        |
| 2.3.2.1 Modo contacto.....  | 34        |
| 2.3.2.2 Modo No-contacto.....   | 34        |
| 2.3.2.3 Modo de contacto intermitente o “Tapping” .....   | 35        |
| 2.3.2.4 Ventajas y desventajas de los modos de operación del AFM.....                             | 36        |
| 2.3.3 <i>Resolución en imágenes AFM</i> .....   | 37        |
| 2.3.4 <i>Imágenes en AFM: El Formato de datos jerárquico (Atmospheric Science Data Cente)</i> ... | 37        |
| 2.3.4.1 Paquete de objetos HDF.....   | 38        |
| 2.3.4.2 La jerarquía de clases del paquete HDF.....   | 40        |

|           |  |           |
|-----------|--|-----------|
| 2.4       | TELEMICROSCOPIA BAJO DEMANDA Y TELEMICROSCOPIA EN TIEMPO REAL.....                               | 41        |
| 2.5       | MODELO CLIENTE-SERVIDOR .....  | 44        |
| 2.5.1     | <i>Cliente</i> .....   | 44        |
| 2.5.2     | <i>Servidor</i> .....  | 44        |
| 2.6       | REDES PARA COMUNICACIONES EN TIEMPO REAL Y TELEOPERACION (STA) .....                             | 45        |
| 2.6.1     | <i>Requerimientos de red para telemicroscopía en tiempo real</i> .....                           | 45        |
| 2.6.2     | <i>Propiedades deseables para comunicaciones en tiempo real</i> .....                            | 46        |
| 2.6.3     | <i>Protocolos de transporte en tiempo real</i> <sup>(Stallings, 2000)</sup> .....                | 47        |
| <b>3.</b> | <b>ESTADO DEL ARTE</b> .....   | <b>50</b> |
| 3.1       | IMPLEMENTACIONES DE MICROSCOPIA VIRTUAL O TELEMICROSCOPIA .....                                  | 50        |
| 3.1.1     | <i>EXPERIENCIAS EN EL AMBITO INTERNACIONAL</i> .....   | 50        |
| 3.1.1.1   | Virtual Microscope .....   | 51        |
| 3.1.1.2   | Telemicroscopy client software (NCM).....  | 52        |
| 3.1.1.3   | Plataforma OMERO (OME) .....   | 52        |
| 3.1.1.4   | RICE (Remote Instrumentation Collaboration Environment) <sup>(Calyam, y otros, 2008)</sup> ..... | 53        |
| 3.1.2     | <i>EXPERIENCIAS EN EL AMBITO LATINOAMERICANO</i> .....   | 54        |
| 3.1.2.1   | Telemicroscopía entre la UBA y el NCMIR.....   | 54        |
| 3.1.3     | <i>EXPERIENCIAS EN COLOMBIA</i> .....  | 55        |
| 3.1.3.1   | Navegación en microscopía virtual usando estrategias de cache.....                               | 55        |
| 3.1.3.2   | Predicción de la navegación en imágenes en microscopía virtual en-línea.....                     | 56        |
| 3.1.3.3   | Plataforma para el acceso remoto vía RENATA a instrumentación avanzada .....                     | 56        |
| 3.1.4     | <i>EXPERIENCIAS EN EL AMBITO LOCAL</i> .....   | 57        |
| 3.1.4.1   | Herramienta web CRIB.....  | 57        |
| 3.2       | SOFTWARES PARA ESCRITORIOS REMOTOS .....   | 57        |
| 3.2.1.1   | Softwares GPL para escritorio remoto utilizados en pruebas .....                                 | 58        |
| 3.2.1.2   | Softwares GPL para escritorio remoto en JAVA™ utilizados en pruebas.....                         | 59        |

|           |   |           |
|-----------|---|-----------|
| <b>4.</b> | <b>ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE Y JUSTIFICACIÓN DE DECISIONES .....</b> | <b>60</b> |
| 4.1       | TELEMICROSCOPIA BAJA DEMANDA .....                                      | 60        |
| 4.2       | TELEMICROSCOPIA EN TIEMPO REAL .....                                    | 61        |
| 4.2.1     | <i>Alternativa 1.....</i>   | <i>61</i> |
| 4.2.2     | <i>Alternativa 2.....</i>   | <i>63</i> |
| 4.3       | RED DE TRANSMISIÓN .....  | 66        |
| 4.3.1     | <i>Implementación de RENATA .....</i>                                   | <i>66</i> |
| 4.3.2     | <i>Implementación de IPv6.....</i>                                      | <i>68</i> |
| <b>5.</b> | <b>METODOLOGÍA .....</b>  | <b>69</b> |
| 5.1       | INTERACCIÓN HUMANO-MÁQUINA, IHM.....                                    | 69        |
| 5.2       | MODELOS MENTALES DE DONALD NORMAN .....                                 | 70        |
| 5.3       | USABILIDAD .....  | 71        |
| 5.3.1     | <i>Atributos de Usabilidad.....</i>                                     | <i>72</i> |
| 5.3.1.1   | Atributos de usabilidad según Nielsen .....                             | 72        |
| 5.3.1.2   | Principios de diseño y de usabilidad según Norman .....                 | 74        |
| 5.4       | INGENIERÍA DE USABILIDAD .....  | 74        |
| 5.4.1     | <i>TÉCNICAS DE LA INGENIERÍA DE USABILIDAD.....</i>                     | <i>75</i> |
| 5.4.1.1   | Etapa de Especificaciones .....   | 75        |
| 5.4.1.1.1 | Análisis de Usuarios.....   | 75        |
| 5.4.1.1.2 | Análisis de Tareas o de Actividades.....                                | 76        |
| 5.4.1.1.3 | Especificaciones de Usabilidad.....                                     | 77        |
| 5.4.1.2   | Etapa de Diseño.....  | 78        |
| 5.4.1.2.1 | Diseño de la Interacción .....  | 78        |
| 5.4.1.2.2 | Prototipado.....  | 78        |
| 5.4.1.2.3 | Participación de los Usuarios: Diseño Centrado en Usuario .....         | 80        |
| 5.4.1.3   | Etapa de evaluación.....  | 81        |

|                     |  |            |
|---------------------|--|------------|
| 5.4.1.3.1           | Test de Usabilidad .....   | 81         |
| 5.4.1.3.2           | Evaluación Heurística.....   | 82         |
| <b>6</b>            | <b>DISEÑO DE LA PROPUESTA .....</b>  | <b>84</b>  |
| 6.1                 | RAZÓN DE SER DEL SISTEMA.....  | 85         |
| 6.1.1               | <i>REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE TELEMICROSCOPÍA AFM.....</i>                | <i>85</i>  |
| 6.1.1.1             | Software para implementar Telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda..... | 85         |
| 6.1.1.2             | Compresión de video y datos .....  | 86         |
| 6.1.1.3             | Cámara.....  | 87         |
| 6.1.1.4             | Interfaz .....   | 87         |
| 6.1.1.5             | Teleoperador .....   | 87         |
| 6.1.1.6             | Red.....   | 88         |
| 6.2                 | MODELO DE USUARIO .....  | 89         |
| 6.2.1               | <i>Operario local.....</i>   | <i>89</i>  |
| 6.2.2               | <i>Operario remoto.....</i>  | <i>90</i>  |
| 6.2.3               | <i>Administrador.....</i>  | <i>91</i>  |
| 6.3                 | MODELO DE LA ACTIVIDAD .....   | 93         |
| 6.3.1               | <i>Descripción del sistema .....</i>   | <i>95</i>  |
| 6.3.2               | <i>Árbol de tareas .....</i>   | <i>96</i>  |
| 6.4                 | MODELO DEL DOMINIO .....   | 99         |
| <b>7</b>            | <b>IMPLEMENTACIÓN .....</b>  | <b>100</b> |
| <b>PARTE I.....</b> | <b>.....</b>   | <b>100</b> |
| 7.1                 | TELEMICROSCOPÍA BAJO DEMANDA .....   | 100        |
| 7.1.1               | <i>INSTALACIÓN DE LA PLATAFORMA OMERO EN DEBIAN LENNY SO .....</i>           | <i>101</i> |
| 7.1.1.1             | PRE-REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN .....                                     | 101        |
| 7.1.1.1.1           | Instalación de PostgreSQL.....   | 101        |
| 7.1.1.1.2           | Instalación de JAVA.....   | 102        |

|                  |  |            |
|------------------|--|------------|
| 7.1.1.1.3        | Instalación de Ice 3.3.x .....                           | 103        |
| 7.1.1.1.4        | Instalación de Phyton versión entre 2.4 y 2.6 .....      | 103        |
| 7.1.1.1.5        | Instalación de Phyton Imaging Library .....              | 103        |
| 7.1.1.1.6        | Instalación del Servidor Omero .....                     | 103        |
| 7.1.1.1.7        | Modificación de las variables de entorno.....            | 103        |
| 7.1.1.1.8        | Creación de la base de datos como root en Postgres ..... | 104        |
| 7.1.1.1.9        | Creación del repositorio binario OMERO.....              | 105        |
| 7.1.1.2          | CONFIGURACIÓN .....                                      | 106        |
| 7.1.1.2.1        | Inicialización del Servidor OMERO .....                  | 107        |
| 7.1.1.2.2        | Inicialización del Cliente Web Omero.....                | 107        |
| <b>PARTE II</b>  | .....  | <b>107</b> |
| 7.2              | TELEMICROSCOPIA EN TIEMPO REAL .....                     | 107        |
| 7.2.1            | <i>Hub Turbomeeting</i> .....                            | 108        |
| <b>PARTE III</b> | .....  | <b>108</b> |
| 7.3              | SITIO WEB DEL GOTS .....                                 | 108        |
| <b>8.</b>        | <b>PRUEBAS DE USABILIDAD Y CUESTIONARIO SUS .....</b>    | <b>111</b> |
| 8.1              | RESULTADOS DE LA PRUEBA.....                             | 113        |
| 8.2              | RESULTADOS DEL CUESTIONARIO SUS .....                    | 116        |
| <b>9.</b>        | <b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>              | <b>118</b> |
|                  | <b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>                                | <b>120</b> |
|                  | <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>                  | <b>122</b> |
|                  | <b>ANEXOS.....</b>                                       | <b>123</b> |

## LISTA DE TABLAS

|  |     |
|--|-----|
| Tabla 1: Ventajas y desventajas de los modos AFM.....          | 366 |
| Tabla 2: Clasificación de los sistemas de Telemicroscopía..... | 433 |
| Tabla 3: Softwares GPL Probados.....                           | 58  |
| Tabla 4: Softwares GPL en JAVA probados.....                   | 59  |
| Tabla 5: Ejemplo de especificación de usabilidad.....          | 77  |
| Tabla 6: Manera de puntuación de la escala Linkert.....        | 116 |
| Tabla 7: Resultado del cuestionario SUS para el Usuario 1..... | 116 |
| Tabla 8: Resultado del cuestionario SUS para el Usuario 2..... | 117 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |     |
|---|-----|
| Figura 1: Microscopio de Fuerza Atómica .....   | 31  |
| Figura 2: Esquema básico de un AFM. ....  | 32  |
| Figura 3: Cabezal del AFM .....   | 33  |
| Figura 4: Esquema del paquete de objetos HDF .....  | 39  |
| Figura 5: Jerarquía de clases del paquete HDF .....   | 40  |
| Figura 6: Interfaz del Virtual Lab .....  | 51  |
| Figura 7: Visualización del cliente web OMERO.....  | 53  |
| Figura 8: prototipo RICE en una sesión activa.....  | 54  |
| Figura 9: Prototipo del Microscopio Virtual de Biogenium UNAL-Colombia.....                           | 55  |
| Figura 10: Esquema de funcionamiento del KVM sobre IP .....   | 64  |
| Figura 11: Esquema de funcionamiento del TurboMeeting.....  | 65  |
| Figura 12: Tres aspectos de los modelos mentales .....  | 71  |
| Figura 13: Visualización de los 2 monitores del AFM .....   | 87  |
| Figura 14: Esquema de red y dispositivos para el control remoto de un AFM.....                        | 88  |
| Figura 15: Modelo de Usuario.....   | 92  |
| Figura 16: Árbol de tareas 1.....   | 96  |
| Figura 17: Árbol de tareas para Telemicroscopía en Tiempo Real .....                                  | 97  |
| Figura 18: Árbol de tareas para Telemicroscopía en Bajo Demanda.....                                  | 98  |
| Figura 19: Sitio web del GOTS.....  | 109 |
| Figura 20: Esquema de las plataformas implementadas para el servicio de telemicroscopía del GOTS..... | 110 |
| Figura 21: Usuario navegando en el sitio web del GOTS.....  | 113 |
| Figura 22: Usuario accediendo a la plataforma Omero .....   | 114 |
| Figura 23: Usuario visualizando fotografías de microscopía durante la prueba.....                     | 114 |
| Figura 24: Usuario remoto ejecutando tareas en el el AFM.....   | 115 |
| Figura 25: Usuarios remotos del AFM obteniendo una imagen 3D .....                                    | 115 |
| Figura 26: Microscopio AFM Veeco del GOTS.....  | 124 |
| Figura 27: Componentes del instrumento digital CPII. Microscopio AFM .....                            | 125 |
| Figura 28: Microscopio Óptico y Cámara de aislamiento acústico.....                                   | 126 |
| Figura 29: visualización de los 2 monitores del AFM.....  | 127 |
| Figura 30: Componentes del Instrumento digital CPII.....  | 127 |
| Figura 31: Cabezal de Prueba CPII .....   | 128 |
| Figura 32: Conexión de cables para los componentes del sistema CPII.....                              | 130 |
| Figura 33: Interfaz del software ProScan data acquisition en modo movimiento.....                     | 131 |
| Figura 34: Interfaz del software PROSCAN data acquisition en modo imagen.....                         | 132 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 35: Interfaz de administración del sitio web del GOTS .....  | 148 |
| Figura 36: Ayuda de Joomla!.....  | 149 |
| Figura 37: Menú de servicios en el sitio web del GOTS .....   | 149 |
| Figura 38: Interfaz web para el inicio de sesión en la administración de la plataforma OMERO ...                    | 150 |
| Figura 39: Formulario para ingresar y moderar una junta de interacción remota del AFM .....                         | 150 |
| Figura 40: selección del tipo de reunión como junta interactiva para la interacción con el AFM..                    | 151 |
| Figura 41: interfaz para invitar participantes a una sesión de telemicroscopía con AFM .....                        | 152 |
| Figura 42: interfaz en el sitio web del GOTS para solicitar una sesión AFM en Tiempo Real.....                      | 153 |
| Figura 43: Formulario para solicitud de sesión de telemicroscopía remota en tiempo real con el microscopio AFM..... | 154 |
| Figura 44: interfaz para redireccionar a la plataforma Turbomeeting del CENTIC .....                                | 155 |
| Figura 45: Formulario para introducir ID de junta y unirse a sesión .....   | 156 |
| Figura 46: Interfaz para Iniciar junta programada en Turbomeeting .....   | 157 |

## LISTA DE ANEXOS

|   |     |
|---|-----|
| ANEXO 1: Descripción de los instrumentos VEECO CP-II .....  | 124 |
| ANEXO 2: Pasos para tomar una imagen con AFM o SPM.....   | 129 |
| ANEXO 3: Conexión de cables para los componentes del sistema CP11 .....   | 130 |
| ANEXO 4: Interfaz PROSCAN data acquisition en modo movimiento .....   | 131 |
| ANEXO 5: Interfaz PROSCAN data acquisition en modo imagen.....  | 132 |
| ANEXO 6: Instalación de la plataforma OMERO para UNIX.....  | 133 |
| ANEXO 7: Prueba de usabilidad con usuarios remotos del AFM.....   | 141 |
| ANEXO 8: CUESTIONARIO SUS, ESCALA DE USABILIDAD DEL SISTEMA .....   | 145 |
| ANEXO 9: Manual de administración del servicio de adquisición de datos de forma remota del Microscopio de Fuerza Atómica del Laboratorio de Óptica de la UIS.....   | 148 |
| ANEXO 10: Protocolo para el acceso al servicio de adquisición de datos de forma remota del Microscopio de Fuerza Atómica del Laboratorio de Óptica de la UIS.....   | 153 |
| ANEXO 11: Manual del operario local del servicio de adquisición de datos de forma remota del Microscopio de Fuerza Atómica del Laboratorio de Óptica de la UIS..... | 157 |
| ANEXO 12: código fuente del prototipo preliminar desarrollado para el acceso remoto cliente-servidor al AFM.....  | 159 |

## RESUMEN

**TITULO:** DESARROLLO DE UN SERVICIO PARA LA ADQUISICIÓN REMOTA DE DATOS DEL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA DEL LABORATORIO DE ÓPTICA DE LA UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER\*

**AUTORES:** DIAZ TORRES, Gonzalo Nicolás \*\*, SILVA MORALES, Milena Jael \*\*

**PALABRAS CLAVES:** telemicroscopía en tiempo real, telemicroscopía bajo demanda, imágenes de microscopía, microscopía de fuerza atómica, usabilidad, aceptabilidad, diseño centrado en usuario, transmisión de datos multimedia.

Debido a la necesidad de una herramienta económica, eficiente, simple y rápida para la interacción de usuarios remotos con el microscopio de fuerza atómica (AFM) del Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales (GOTS) de la Universidad Industrial de Santander (UIS), se decide hacer un estudio sobre las posibilidades que presenta el mercado para solucionar el acceso remoto de microscopios a través de Internet, para la transmisión de datos multimedia durante tele microscopía en Tiempo Real y, para el almacenamiento de imágenes de microscopía durante sesiones de telemicroscopía bajo demanda.

También, se hace una modelización según los modelos mentales de Donald Norman para la caracterización de los usuarios, del diseño y de la imagen del sistema y de la red de interacción durante las sesiones de Telemicroscopía en Tiempo Real y en términos de los principios de usabilidad y aceptabilidad.

Con base en el rendimiento mostrado en las pruebas de usabilidad con escenarios y guiones de tareas para la solución hardware-software y cliente-servidor que propone el presente proyecto, se implementa el sitio web del GOTS, creado para dar a conocer los servicios que ofrece el grupo y direccionar a las plataformas de Tele microscopía implementadas, como lo son el OMERO OME para la administración y uso en línea sobre imágenes de microscopía y el TurbMeeting para el acceso remoto al AFM.

---

\* Proyecto de Grado: Modalidad Investigación

\*\* Facultad de ingeniería Físico-Mecánica. Escuela de Ingeniería de Sistemas e Informática, UIS. Director: PhD Arturo Plata Gómez. Co-Director: McS Pedro Javier Trujillo Tarazona.

## ABSTRACT

**TITLE:** DEVELOPMENT OF A SERVICE FOR REMOTE DATA ACQUISITION OF ATOMIC FORCE MICROSCOPE OF OPTICAL LABORATORY OF UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER \*

**AUTHORS:** DIAZ TORRES, Gonzalo Nicolás\*\*, SILVA MORALES, Milena Jael \*\*

**KEYWORDS:** telemicroscopy in real-time, telemicroscopy on demand, imaging microscopy, atomic force microscopy, usability, acceptability, user-centered design, multimedia data transmission.

Due to the need of an economic, efficient, simple and fast tool for the interaction between remote users and the Atomic Force Microscope (AFM) from the Optics and Signal Treatment Group (GOTS for its initials in Spanish) of the Universidad Industrial de Santander (UIS), it's decided to make an study about the market possibilities in the remote access to microscopes AFM and multimedia data transmission over Internet, for telemicroscopy in real time and, for storing microscopy images during telemicroscopy on demand's sessions.

Also, modeling is done according to Donald Norman's mental models for the characterization of users, for the design and for thimage of the system and the network of interaction during sessions for telemicroscopy in real time and in terms of usability and acceptability principles.

Based on the performance revealed on the usability test with scenarios and plots of development tasks in the solution hardware-software and client-server proposed by this project, it's implemented the GOTS web site. Created in order to show the services that the group offers and address the Tele microscopy implemented. As they are OMERO OME for the online management and use of microscopy images and the TurboMeeting tool for the remote access to the AFM.

---

\* Degree Project: research method

\*\* Faculty of Engineering Physics-Mechanical. School of Engineering and Computer Systems, UIS. Director: PhD Arturo Plata Gómez. Co-Director: McS Pedro Javier Trujillo Tarazona.

## INTRODUCCIÓN

El presente proyecto busca encontrar los lineamientos necesarios para elaborar una propuesta eficiente, económica y confiable que solucione la implementación de un sistema de telemicroscopía bajo demanda y en tiempo real, con el Microscopio de Fuerza Atómica (Atomic Force Microscope, AFM)<sup>1</sup>. La telemicroscopía ha ido creciendo a través de los años facilitando el trabajo colaborativo entre especialistas ubicados en diferentes lugares.

Este documento presenta dos propuestas para la implementación del sistema de telemicroscopía con el AFM:

- La primera consiste en la implementación de un sistema de telemicroscopía con un subsistema en tiempo real y otro bajo demanda. En esta parte se hace énfasis en un aspecto relevante, el análisis de la mejor y más económica solución disponible en el mercado para acceso en tiempo real, sea a través de software con licencia pública general o software comercial. Por el lado de la telemicroscopía bajo demanda se implementa OMERO (Open Microscopy Environment), aplicación de código abierto desarrollada en JAVA<sup>TM</sup> para la visualización, administración y análisis de imágenes de datos microscópicos bajo demanda y con soporte para muchos formatos de imágenes de microscopía.
- La segunda propuesta consiste en el análisis y diseño de un sistema de telemicroscopía en tiempo real para desarrollar desde cero, realizado con la metodología de la ingeniería de la interacción humano-máquina.

Además, en este documento se encuentran el estado del arte necesario para el estudio del diseño e implementación del proyecto, partiendo de bases teóricas y metodológicas útiles para alcanzar los objetivos planteados en la etapa inicial, teniendo en cuenta que una de las principales limitaciones es el alto costo de desarrollo de aplicaciones para telemicroscopía en tiempo real.

---

<sup>1</sup> Propiedad del Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales (GOTS) de la Universidad Industrial de Santander.

# 1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

## 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La adquisición y gestión remota de datos de microscopía a través de internet facilita el trabajo colaborativo y la comparación de resultados entre grupos de investigación o laboratorios distantes.

Al realizar la adquisición remota de los datos de un microscopio de fuerza atómica (AFM) a través de un navegador web se debe tener en cuenta que, durante un análisis in situ, el AFM realiza un rastreo de la muestra mediante video e imágenes obtenidos a través de una cámara conectada al microscopio. La cámara tiene como función ayudar a posicionar el objetivo en la muestra con el cantiléver y el láser, por tanto, el retardo en la transmisión de los datos debe ser mínimo para tener una visualización cercana al tiempo real y no dañar la instrumentación.

A partir de lo anterior, el Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales (GOTS) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) ha querido emprender iniciativas para que otros especialistas puedan disponer de un AFM de manera remota. Sin embargo, esta idea se ha visto afectada por varios factores entre los cuales se encuentran:

- El ancho de banda. La transmisión en tiempo real de los datos generados durante el análisis depende del ancho de banda disponible para la transferencia a través de internet. Si el software implementado para el acceso remoto no usa métodos óptimos para la compresión de los datos transmitidos se consumirá grandes recursos del sistema y de la red de transmisión. El uso de una red dedicada como RENATA<sup>2</sup> podría mejorar la transmisión de los datos.

---

<sup>2</sup> Red Nacional Académica de Tecnología Avanzada de Colombia: <http://www.renata.edu.co/>

- La latencia. Al utilizar un software de escritorio remoto se debe tener en cuenta la latencia. En el caso de que ésta sea alta habrá un retardo considerable en visualización, lo cual afectará el análisis de la muestra. En el peor de los casos, podría conllevar a errores debido al retardo en la recepción de los datos remotos llegando a dañar la instrumentación. Por tanto, un software para el acceso remoto con latencia alta no es una solución viable.
- La Calidad de la imagen. La calidad de la imagen debe ser buena para que se pueda hacer un análisis confiable de la muestra.

Con el fin de solucionar estos inconvenientes el presente proyecto propone una aplicación cliente-servidor que realice el acceso remoto y la gestión de los datos<sup>3</sup> buscando simplicidad<sup>4</sup>, economía<sup>5</sup>, rapidez<sup>6</sup> y posibilidad de desarrollo continuo mediante código abierto, la cual contará principalmente con dos tipos de usuarios: el operario in situ del servidor AFM que se encargará de posicionar la muestra y el usuario distante cuya función será el monitoreo del análisis a través de la ejecución remota de algunas funciones del software del AFM<sup>7</sup>. Ambos usuarios podrán utilizar una plataforma web para la administración y gestión de los datos del AFM sean imágenes, videos o metadatos.

---

<sup>3</sup> Los datos para este proyecto son imágenes y videos.

<sup>4</sup> La simplicidad es debido a que los principales usuarios no son especialistas en informática sino físicos, biólogos, entre otros. La aplicación debe ser concebida para que cualquier persona aprenda rápidamente a usarla.

<sup>5</sup> En el mercado existen aplicaciones comerciales de escritorio remoto con condiciones óptimas para la transmisión, incluyendo baja latencia y bajo consumo de ancho de banda éstas tienen un costo que oscila aproximadamente 750 dólares por licencia.

<sup>6</sup> Baja latencia y rapidez en la red transmisión de datos.

<sup>7</sup> Sólo las que se muestren en el monitor 2 del sistema del AFM

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo general

Desarrollar un servicio<sup>8</sup> para la adquisición remota de datos del Microscopio de Fuerza Atómica, AFM, del Laboratorio de Óptica de la Universidad Industrial de Santander, UIS, por medio de un aplicativo<sup>9</sup> cliente-servidor para el control y transferencia de video en tiempo real y la descarga de fotografías de alta resolución bajo demanda.

### 1.2.2 Objetivos específicos

- Diseñar una interfaz de comunicación con el operario<sup>10</sup> para el control remoto de la cámara usada dentro del procedimiento para el posicionamiento del cantiléver, punta y el láser del microscopio de fuerza atómica del laboratorio de óptica de la UIS.
- Implementar un servicio de transmisión de video en tiempo real de la imagen de la cámara usada en el procedimiento para el posicionamiento del lente del microscopio de fuerza atómica del laboratorio de óptica de la UIS.
- Analizar, diseñar e implementar una aplicación que permita gestionar de forma remota los archivos de las muestras capturadas en el microscopio de fuerza atómica del laboratorio de óptica de la UIS.
- Definir un protocolo para el acceso al servicio de adquisición de datos de forma remota del Microscopio de Fuerza Atómica del Laboratorio de Óptica de la UIS.
- Realizar pruebas de aceptabilidad para la valoración del servicio desarrollado.
- Elaborar un manual de uso con especificaciones del diseño del protocolo que sirva como documentación en caso de daños y como base para futuras versiones.

---

<sup>8</sup> Actividad o conjunto de actividades generadas por una organización con el objeto de satisfacer una necesidad de un cliente o usuario.

<sup>9</sup> Software o programa de computador elaborado con la fin de sistematizar la información que se trabaja durante la realización de un proceso.

<sup>10</sup> Persona que manipula físicamente el microscopio

### 1.3 JUSTIFICACIÓN

Las redes de cooperación entre laboratorios científicos son necesarias para desarrollar proyectos entre comunidades científicas o académicas geográficamente distantes. Cuando se trata de proyectos de telemicroscopía síncrona o en tiempo real, la implantación de dichos proyectos es tediosa debido a los inconvenientes presentados en la sección 1.1 del presente documento. Por lo tanto, la creación de una aplicación<sup>11</sup> web para el préstamo del servicio de telemicroscopía con el microscopio de fuerza atómica, se justifica debido a que ofrece solución a lo descrito en el planteamiento del problema de la siguiente manera:

- Aporta una herramienta para que los especialistas no tengan que desplazarse personalmente hasta el microscopio sino que analicen la muestra de forma remota, de manera que se pueda ahorrar tiempo y dinero.
- Ofrece una solución eficaz al problema de transmisión de video con acceso remoto.
- Provee a grupos de investigación y personas de diferentes lugares del país la posibilidad de utilizar un AFM para el procesamiento, análisis y visualización de muestras.
- Aumenta la posibilidad de colaboración, interacción y desarrollo de proyectos entre distintos grupos de investigación.

Por otra parte, la interacción humano-ordenador facilita el diseño de un producto interactivo de fácil uso para el préstamo de un mejor servicio de telemicroscopía con el AFM de la UIS.

---

<sup>11</sup> En informática, una aplicación es un tipo de programa informático diseñado como herramienta para permitir a un usuario realizar uno o diversos tipos de trabajo.

## 1.4 LIMITACIONES

El AFM Veeco CP II no es totalmente automático. Algunas funciones sólo se pueden operar de forma manual por ejemplo, la ubicación de la muestra en la plataforma; por tanto, durante el proceso de obtención de datos siempre deberá estar un operario in situ del AFM<sup>12</sup>.

La calidad del video y la transmisión de datos estarán limitadas por las características de las conexiones a internet tanto del usuario remoto como del servidor AFM.

---

<sup>12</sup> Para conocer más acerca de las funciones y limitantes de los usuarios ir a la sección 5 donde se describe con más detalle el modelo de usuarios.

## **2. MARCO REFERENCIAL**

A continuación se presentan las bases teóricas necesarias para el desarrollo del presente proyecto. En primer lugar se describen el concepto de acceso remoto; luego se habla sobre microscopía, incluyendo la Microscopía de Fuerza Atómica y la telemicroscopía y; para finalizar se menciona el concepto de modelo Cliente-Servidor.

### **2.1 ACCESO REMOTO**

Éste permite mediante una red acceder a los recursos de uno o varios sistemas informáticos desde otra computadora con una ubicación geográfica diferente y realizar acciones como transferir archivo, imprimir documentos desde el ordenador remoto a una impresora local, entre otras cosas. Este proceso se realiza a través de protocolos establecidos para la comunicación remota entre computadoras con el fin de que ambas partes puedan recibir y enviar los datos necesarios.

En el mercado existen aplicaciones web para acceso remoto libres como VNC (Virtual Network Computing) o con versiones gratuitas y/o comerciales como LogMeIn o TeamViewer las cuales funcionan a través de protocolos que permiten manipular un dispositivo remoto, entre los cuales se encuentran el RDP (Remote Desktop Protocol), el RFB (Remote Framebuffer) usado por el VNC o proyectos derivados como RealVNC y, el ALP (Appliance Link Protocol) fabricado por Sun Microsystems, entre otros.

#### **2.1.1 Acceso remoto a través de software y protocolos**

Los escritorios remotos son herramientas software de acceso remoto que usan ciertos protocolos para que un usuario pueda controlar la parte gráfica del escritorio de una computadora ubicada en otro lugar, con la condición de que ambas partes estén conectadas en una red.

El software para acceso remoto **VNC** (Virtual Network Computing) usa el protocolo RFB <sup>(RFB11)</sup> (remote framebuffer) y se basa en una estructura cliente-servidor. VNC utiliza JPEG / codificación MPEG (T. Richardson, (January/February 1998)) para la transferencia de imágenes de vídeo y TCP para el control de tráfico del teclado y ratón. La latencia de compresión de VNC depende de factores tales como la velocidad de la CPU, las cargas de tareas y las capacidades de la tarjeta de vídeo, tanto en el microscopio y como en el usuario remoto. Estos factores influyen negativamente en los niveles de compresión de latencia porque obstaculizan la productividad del usuario y degradan la QoE del usuario (Prasad Calyam, Nathan Howes, Abdul Kalash, Mark Haffner., 2008.).

Otro protocolo implementado para acceso remoto es el **RDP**, desarrollado por Microsoft. La información gráfica que genera el servidor es transformada a un formato propio RDP y enviada desde la red al terminal o cliente, luego es enviada en paquetes por el protocolo es interpretada para reconstruir la imagen que se muestra en la pantalla del cliente. Permite el uso de colores; cifrado de 128 bits, ejecución de un programa de audio en una ventana remota y escuchar el sonido en el ordenador local; transferencia de ficheros; uso compartido de ficheros, portapapeles e impresoras. También se puede ajustar el ancho de banda para clientes RDP y brinda soporte de varios monitores (La sesión puede mostrarse en dos monitores).

**X-Windows** es un protocolo desarrollado por el Instituto Tecnológico de Massachusetts con el objetivo de proporcionar una interfaz gráfica a sistemas Unix. Este protocolo ha ido mejorando con el tiempo hasta hacerse completamente transparente y, hasta cierto punto, independiente del sistema operativo, red y dispositivos. Actualmente se encuentra disponible la versión X11. Existen multitud clientes libres de SSH y servidores X11 que permiten la conexión desde prácticamente cualquier plataforma a servidores de escritorio remoto como el NomachineNX o FreeNX (bajo licencia GNU de Nxserver).

### **2.1.2 Acceso remoto a través de soluciones hardware-software**

En el mercado existen varias alternativas para el acceso remoto a través de soluciones híbridas hardware-software las cuales pueden implementarse usando hardware como concentradores (hub) o conmutadores (switch) y softwares para acceso remoto como el VNC. Esta solución es óptima para mejorar el rendimiento de la red porque al crear un canal dedicado que opera muy cercano al tiempo real solucionando problemas como el de la latencia y sus fluctuaciones, haciendo la transmisión de datos más cercana al tiempo real.

## **2.2 MICROSCOPIA: DEFINICIÓN E HISTORIA**

Microscopía es la técnica del uso de microscopios para ver las muestras y objetos que no pueden verse a simple vista. Se puede decir que la microscopía tiene tres ramas: la óptica, electrónica y microscopía de sonda de barrido o de barrido por sonda<sup>13</sup>.

En 1608 Zacharias Jansen construye el primer microscopio con dos lentes convergentes. A partir de este momento, empiezan a surgir numerosas técnicas microscopía y tipos de microscopios: En 1611 Kepler propone la manera de fabricar un microscopio compuesto, en 1828 W. Nicol crea la microscopía con luz polarizada, en 1876 Abbé analiza los efectos de la difracción en la formación de la imagen en el microscopio y muestra cómo perfeccionar el diseño del microscopio, en 1886 Zeiss fabrica una serie de lentes diseñados por Abbé que permiten al microscopista resolver estructuras en los límites teóricos de la luz visible. Luego, en la primera mitad del siglo XX se inventan microscopios como el de fluorescencia, el de interferencia, el de contraste de fases, el electrónico y el sistema de contraste de interferencia diferencial para el microscopio de luz, entre otros aportes.

---

<sup>13</sup> El presente proyecto se centra en la Microscopía de Fuerza Atómica, un tipo de Microscopía de Barrido por Sonda.

Por otro lado, la técnica de Microscopía de Fuerza Atómica nació alrededor de la década de los 80, gracias al trabajo de Gerd Binnig y Heinrich Rohrer sobre la poderosa técnica de Microscopía de Barrido de Túnel o Microscopía Electrónica de Barrido, MEB, lo que les hizo meritorio el Premio Nobel de Física en 1986. Con la técnica del barrido de túnel se puede formar una imagen de cada uno de los átomos sobre una superficie de metal o de semiconductores mediante el escaneo de la punta de una aguja sobre la superficie de la muestra a una altitud de sólo unos pocos diámetros atómicos. Este tipo de microscopía empezó a controlarse mediante computadoras.

Gracias a la aparición del internet, en los últimos años ha surgido la Microscopía Remota o Telemicroscopía, la cual no solo facilita el diagnóstico a distancia sino incluso el que un equipo pueda ser compartido por usuarios ubicados a grandes distancias (Breton, y otros, September 1997). Con Internet también surgió la microscopía virtual al conectar una cámara digital a un microscopio óptico a través un adaptador óptico mecánico que sirve como enlace entre la cámara y el microscopio, para transmitir las señales del análisis muestral a través de internet<sup>14</sup>. Aunque algunos autores utilizan el término “microscopio virtual de doble cabezal” para referirse a conexiones de videoconferencia entre microscopios a través de internet, otros prefieren emplear el término telemicroscopía dinámica mediante videoconferencia y otros usan el término “microscopía virtual” para referirse a telemicroscopía estática mediante mensajes de correo electrónico, encriptado o no, en un uso demasiado amplio del término microscopio virtual (FERRERES Luis. A., 2001).

---

<sup>14</sup> Para algunos autores la microscopía virtual puede implementarse de otra forma. Ver sección 2.4.

## 2.3 MICROSCOPIA DE FUERZA ATÓMICA<sup>15</sup>

Figura 1: Microscopio de Fuerza Atómica



El Microscopio de Fuerza Atómica (“Atomic Force Microscope”, AFM) es una extensión de la Microscopía de Barrido por Sonda y es especialmente útil en el estudio de superficies de materiales no conductores.

Según Agilent Technologies (Agi) *“Entre los instrumentos íntimamente asociadas a la nanociencia y la nanotecnología<sup>16</sup>, ninguno es más reconocido y más simple en sus principios básicos de operación que el Microscopio de Fuerza Atómica (AFM). El AFM ha sido posible gracias a la confluencia de los avances en varios ámbitos tecnológicos: microfabricación, accionamiento piezoeléctrico, la informática digital de alta velocidad, la electrónica y optoelectrónica, y control de ruidos. El resultado es un instrumento que no sólo nos da una visión comprensible intuitivamente de las superficies en tres dimensiones con imágenes nanómetros y la resolución de Angstrom, sino que también nos proporciona un entorno interactivo en el que podemos controlar y modificar el mundo de las moléculas y los átomos en el mismo superficies”.*

Actualmente, este instrumento controla la fuerza que experimenta la punta al aproximarse a la superficie del material (aislante o conductor). La fuerza atómica

---

<sup>16</sup> La Microscopía de Fuerza Atómica se utiliza para estudiar materiales relacionados con un amplio abanico de tecnologías como las de las industrias de electrónica, de telecomunicaciones, biológicas, químicas, de la automoción, aeroespaciales y energéticas. Los materiales que se investigan suelen ser cerámicas, materiales compuestos, vidrios, membranas sintéticas y biológicas, metales, polímeros y semiconductores.

se puede detectar cuando la punta se aproxima a la superficie de la muestra. La pequeña flexión del cantiléver se registra mediante un haz láser reflejado en su parte posterior. Un sistema auxiliar piezoeléctrico desplaza la muestra tridimensionalmente, mientras que la punta recorre ordenadamente la superficie.

Todos los movimientos son controlados por una computadora. La resolución del instrumento es de menos de 1 nm, y la pantalla de visualización permite distinguir detalles en la superficie de la muestra con una amplificación de varios millones de veces. A continuación se muestra el esquema básico de funcionamiento del instrumento:

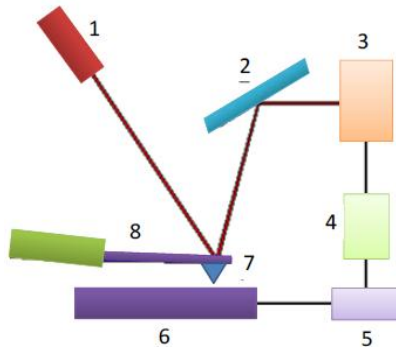


Figura 2: Esquema básico de un AFM.

1 láser, 2 espejo, 3 fotodetector, 4 amplificador, 5 registro, 6 muestra, 7 punta (sonda de barrido), 8 cantilever

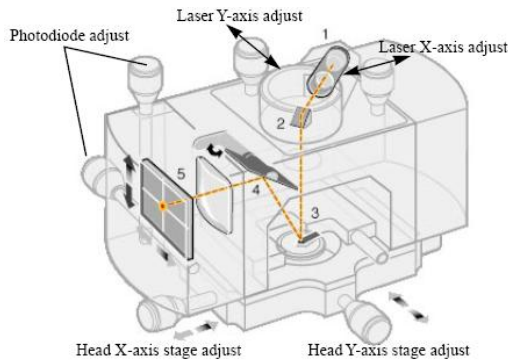
En función de la interacción entre la punta y la superficie de la muestra, el AFM se puede clasificar como modo repulsivo o de contacto (Contact mode), modo atractivo o no contacto (Noncontact mode) y el Tapping mode o contacto intermitente, descritos en la sección 2.3.2

### 2.3.1 Principios de funcionamiento del AFM

Una punta muy fina se barre de manera automática sobre una superficie mediante un mecanismo de retroalimentación que permite que unos scanners piezoeléctricos mantengan la punta interaccionando con la superficie a fuerza constante (de esta manera se obtiene información de alturas, topográfica), o a altura constante (para obtener información de fuerza) respecto de la superficie de la muestra. Las puntas se fabrican normalmente de silicio o nitruro de silicio, extendidas hacia abajo desde el final del cantiléver.

En general, los cabezales de AFM poseen un sistema óptico de detección en el cual incide el haz láser reflejado por el cantiléver.

Figura 3: Cabezal del AFM



*Fuente: Veeco Instruments Inc.*

Un láser de diodo se focaliza sobre la parte trasera del cantiléver reflectante. A medida que la punta barre la superficie de la muestra moviéndose hacia arriba o hacia abajo según el contorno superficial, el haz láser se refleja con un determinado ángulo en función de la deflexión sufrida por el cantiléver e incide en una posición concreta de un fotodiodo de dos o cuatro elementos. El fotodetector mide la diferencia en intensidad de luz entre los fotodetectores superiores y los inferiores así como entre los fotodetectores de la derecha y los de la izquierda. Una retroalimentación a partir de la señal diferencial relativa del fotodiodo a través del control mediante un programa de ordenador permite que la punta se mantenga a fuerza constante o a altura constante sobre la muestra.

Dependiendo del diseño del AFM, los scanners se utilizan para trasladar tanto la muestra bajo el cantiléver como el cantiléver sobre la muestra. Barriendo de cualquiera de las dos maneras, se mide la altura local de la muestra. De esta manera se obtienen mapas tridimensionales de la topografía de la superficie representando la altura local de la muestra frente la posición horizontal y vertical de la punta.

## **2.3.2 Los modos de trabajo del AFM**

### **2.3.2.1 Modo contacto**

El modo de contacto es aquél en el que la punta barre la muestra en contacto cercano con la. La fuerza en la punta es repulsiva con un valor medio de  $10^{-9}$  N. Esta fuerza se ajusta presionando el cantiléver contra la superficie de la muestra con un elemento piezoeléctrico de posicionamiento.

En el modo de contacto la deflexión del cantiléver es detectada y comparada en un amplificador DC de retroalimentación respecto a algún valor concreto de deflexión. Si la deflexión medida es diferente del valor elegido el amplificador de retroalimentación aplica un voltaje al piezo para bajar o subir la muestra en relación al cantilever de manera que se restablezca el valor de deflexión deseado.

El voltaje que el amplificador de retroalimentación aplica al piezo es una medida de la altura asociada al contorno de la superficie de la muestra pues tiene una correspondencia directa con la deformación sufrida por el piezoeléctrico en Z. Esta altura se almacena en función de la posición lateral de la muestra (x, y) obteniéndose así una imagen topográfica o de alturas de la superficie de la muestra.

### **2.3.2.2 Modo No-contacto**

Se utiliza en situaciones en las que el contacto con la punta puede alterar la muestra. En este modo de trabajo la punta se sitúa a 50 – 150 Angstrom por encima de la superficie de la muestra. Lo que se detectan son las fuerzas atractivas de Van der Waals entre la punta y la superficie de la muestra, construyéndose imágenes topográficas al barrer la punta sobre la superficie de la muestra.

### **2.3.2.3 Modo de contacto intermitente o “Tapping”**

El modo “tapping” o contacto intermitente es la herramienta más avanzada en AFM. Este método tan potente permite una alta resolución en imágenes topográficas de superficies de muestras que pueden dañarse con facilidad. El modo “Tapping” está libre de problemas asociados a fricción, adhesión, fuerzas electrostáticas y otras dificultades. En este modo la punta oscilante entonces se mueve hacia la superficie hasta que comienza a tocar ligeramente o golpear la superficie. Durante el barrido, la punta con oscilación vertical contacta y se eleva de manera alternativa generalmente a una frecuencia de 50000 a 500000 ciclos por segundo. Mientras ocurre el contacto intermitente de la punta con la superficie, la oscilación del cantilever se ve reducida debido a la pérdida de energía causada por el propio contacto. La reducción en la amplitud de oscilación se utiliza para identificar y medir las características superficiales.

A través del modo Tapping se puede trabajar con dos tipos de imágenes, las topográficas y las de contraste de fase.

### 2.3.2.4 Ventajas y desventajas de los modos de operación del AFM

A continuación se hace una comparación entre los modos contacto, tapping y no contacto.

Tabla 1: Ventajas y desventajas de los modos AFM

| Modo               | Ventajas   | Desventajas  |
|--------------------|--|--|
| <b>Contacto</b>    | <p>Alta velocidad de barrido</p> <p>Es el único modo de trabajo que permite obtener imágenes con resolución atómica</p> <p>Muestras muy rugosas con cambios extremos en su topografía vertical a veces se pueden barrer con más facilidad en el modo contacto.</p> | <p>Las fuerzas laterales pueden distorsionar las características de la superficie en la imagen.</p> <p>Las fuerzas normales de interacción punta-muestra pueden ser altas en aire debido a las fuerzas de capilaridad desde la capa de fluido sobre la superficie de la muestra (agua y nitrógeno).</p> <p>La combinación de fuerzas laterales y elevadas fuerzas normales pueden dar lugar a una reducción en la resolución espacial y pueden dañar muestras blandas como por ejemplo, muestras biológicas o polímeros.</p>                       |
| <b>Tapping</b>     | <p>Mayor resolución lateral en la mayoría de las muestras (1 – 5 nm)</p> <p>Menores fuerzas y menos daño en muestras blandas al trabajar al aire</p> <p>Las fuerzas laterales son virtualmente eliminadas, de manera que no deberían producirse arañazos.</p>      | <p>Ligeramente menores velocidades de barrido que en el modo contacto.</p>   |
| <b>No contacto</b> | <p>No se ejercen fuerzas sobre la superficie de la muestra.</p>  | <p>Menor resolución lateral, limitada por la separación punta-muestra.</p> <p>Menor velocidad de barrido que en los otros modos para evitar contacto con la capa de fluido adsorbida sobre la superficie de la muestra que podría causar que la punta se quedase pegada.</p> <p>El modo no-contacto generalmente sólo se utiliza para estudiar muestras muy hidrofóbicas donde la capa de fluido adsorbida es mínima. Si la capa es demasiado gruesa la punta puede quedar atrapada causando inestabilidad en el sistema de retroalimentación.</p> |

Fuente: autores

### **2.3.3 Resolución en imágenes AFM**

El concepto de resolución en AFM es diferente del de microscopios basados en algún tipo de radiación porque las imágenes obtenidas por el AFM son tridimensionales. El primer propósito de este instrumento es medir cuantitativamente la rugosidad superficial con una resolución nominal lateral de 5 nm y vertical de 0.01 nm en todo tipo de muestras.

En microscopía la resolución se considera como la capacidad para distinguir dos puntos separados en una imagen, pero en el caso de AFM esto va a ser la denominada resolución lateral, ya que se obtienen imágenes tridimensionales. Será necesario considerar además una resolución vertical o Z la cual es completamente independiente de la agudeza de la punta pues depende del ruido en el sistema.

### **2.3.4 Imágenes en AFM: El Formato de datos jerárquico (Atmospheric Science Data Cente)**

El formato de datos jerárquico (HDF: Hierarchical Data Format) es una librería de código abierto y un formato multiobjeto de archivos para la transferencia de datos gráficos y numéricos entre las máquinas. El HDF soporta una variedad de tipos de datos: las matrices de datos científicos, las tablas y anotaciones de texto, así como varios tipos de imágenes de trama y sus correspondientes paletas de colores.

Hay dos variedades distintas de HDF, conocida como HDF (versión 4 y anteriores) y la más reciente HDF5. Algunas de las características de HDF son las siguientes:

- Es versátil. HDF es compatible con varios modelos de datos diferentes. Cada modelo de datos define un tipo específico de datos globales y proporciona una API para leer, escribir y organizar los datos y metadatos del tipo correspondiente. Los modelos de datos compatibles

incluyen matrices multidimensionales, imágenes de la trama y las tablas de datos.

- Se auto-describe, lo que permite a una aplicación interpretar la estructura y el contenido de un archivo sin ningún tipo de información externa. También significa que muchos tipos de datos pueden ser agrupados en un archivo HDF. Por ejemplo, es posible dar cabida a los datos simbólicos, numéricos y gráficos en un archivo HDF.
- Es flexible. Con HDF, puede mezclar y combinar objetos relacionados en un solo archivo y luego acceder a ellos como grupo o como objetos individuales. Los usuarios también pueden crear sus propias estructuras de agrupación con una característica llamada HDF vgroups.
- Es extensible. Se puede acomodar fácilmente a nuevos modelos de datos, independientemente de si son agregados por el equipo de desarrollo o usuarios de HDF.
- Es portátil. Los archivos HDF pueden ser compartidos en la mayoría de plataformas comunes, incluyendo varias estaciones de trabajo y ordenadores de alto rendimiento. Un archivo HDF creado en un ordenador se puede leer en un sistema diferente sin modificaciones.

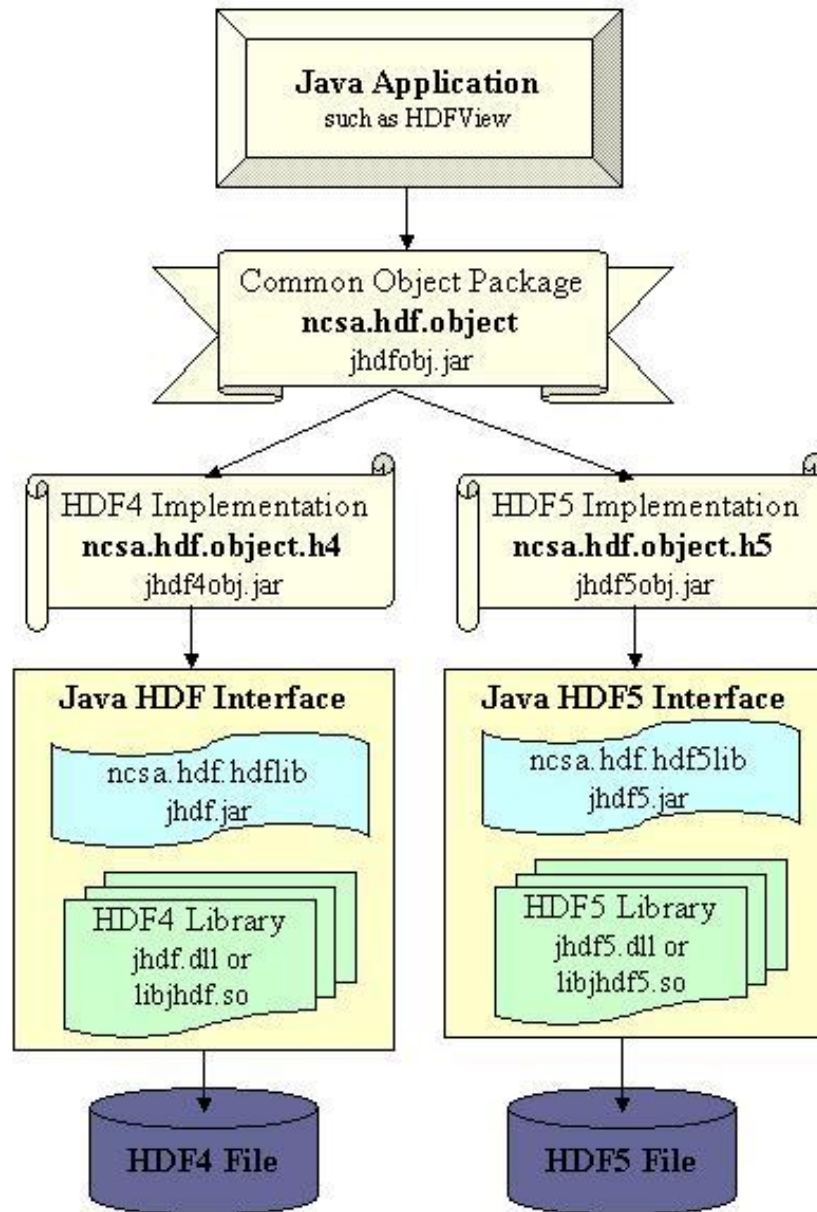
#### **2.3.4.1 Paquete de objetos HDF**

Es un paquete de JAVA que proporciona una interfaz orientada a objetos para los objetos HDF. El paquete ofrece un API común para acceder a los archivos HDF4 y HDF5.

El paquete de objetos HDF, *ncsa.hdf.object* proporciona clases que reflejan los objetos fundamentales de los formatos HDF 4 (grupo, matriz multidimensional, imagen de mapa de bits, vData y las anotaciones) y HDF5 (grupo y conjunto de datos) que se presentan como clases de JAVA en el paquete de objetos HDF.

A continuación se observa un esquema<sup>17</sup> del paquete de objetos descrito anteriormente:

Figura 4: Esquema del paquete de objetos HDF



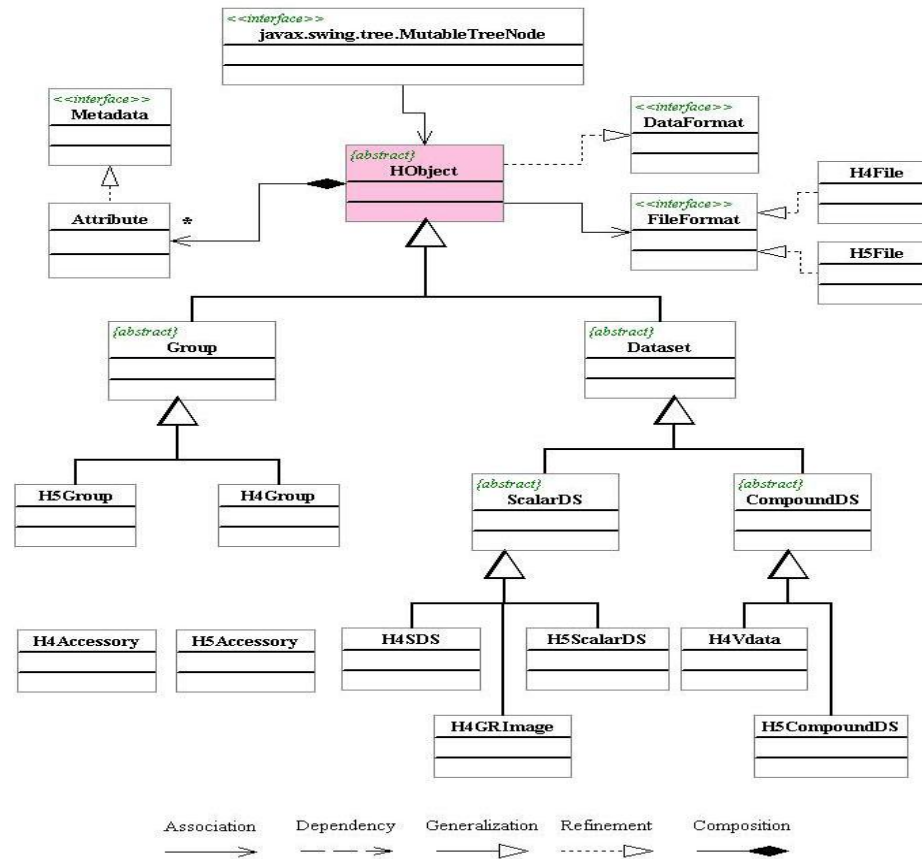
Fuente: HDFGroup

<sup>17</sup> Para una explicación en detalle ir a <http://www.hdfgroup.org/hdf-java-html/javadocs/index.html>

### 2.3.4.2 La jerarquía de clases del paquete HDF<sup>18</sup>

El siguiente diagrama de clases describe el paquete de la librería HDF descritos en la sección 2.3.4 y 2.3.4.1:

Figura 5: Jerarquía de clases del paquete HDF



Fuente: HDFgroup

<sup>18</sup> Ibid

## 2.4 TELEMICROSCOPIA BAJO DEMANDA Y TELEMICROSCOPIA EN TIEMPO REAL

En primer lugar, el concepto de teleoperación se define por Aracil (R., 2002) como *“conjunto de tecnologías que comprenden la operación o gobierno a distancia de un dispositivo por un ser humano. Por tanto, teleoperar es la acción que realiza un ser humano de operar o gobernar a distancia un dispositivo; análogamente un sistema de telemicroscopía será aquel que permita teleoperar un microscopio que se denominará dispositivo teleoperado”*.

Entonces, haciendo una analogía se puede decir que la telemicroscopía es el acceso remoto a microscopios a través de computadores, televisores, algunos teléfonos celulares y/o similares con fines médicos, académicos o científico mediante una infraestructura física y de red por la cual se transfieren imágenes de análisis microscópicos entre una estación tipo servidor (microscopio) y uno o más clientes o terminales.

Hay dos formas de Telemicroscopía: la estática o bajo demanda y la dinámica o en tiempo real.

En la telemicroscopía estática o bajo demanda las imágenes son adquiridas, almacenadas en un sistema y enviadas por un asistente al especialista a través de una red de comunicaciones.

En la telemicroscopía dinámica o en tiempo real el especialista es quien controla de manera remota la adquisición de las imágenes. Puede ser interactiva, robotizada o manual o a través de video conferencia. Generalmente, en el modo dinámico el usuario remoto que consulta puede controlar la platina del microscopio<sup>19</sup> o seleccionar activamente las imágenes que desea visualizar<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Con el AFM el usuario remoto no puede realizar esta tarea puesto que es función del operario in situ debido al cuidado que hay que tener para no dañar la punta del láser.

<sup>20</sup> Caso de la aplicación que propone el presente proyecto para el AFM

Hay dos casos de uso para la telemicroscopía en tiempo real (Prasad Calyam, Nathan Howes, Abdul Kalash, Mark Haffner., 2008.): <sup>(i)</sup> la teleobservación, donde un usuario remoto sólo puede ver imágenes de video en tiempo real y hay un operador in situ del microscopio para realizar todas las acciones de control, y <sup>(ii)</sup> Tele-operación, cuando un usuario remoto visualiza imágenes de vídeo y también controla el microscopio en tiempo real. El primer caso de uso es preferido cuando el usuario remoto no está familiarizado con las funciones del microscopio. También es preferible, si la ruta de red intermedios entre el usuario y el microscopio tiene cuellos de botella debido a congestión de tráfico y fallas de la red. El segundo caso de uso es preferible para los usuarios locales y remotos en los casos en que la presencia humana alrededor de la muestra pueden causar efectos indeseables en ella.

Algunos autores es conocida la telemicroscopía dinámica con microscopía virtual. En este caso los microscopios virtuales permiten a usuarios remotos observar o controlar el sistema del microscopio de forma interactiva en tiempo real y navegar sobre imágenes. Esto hace que el usuario pueda participar activamente en investigaciones científicas basadas en recursos sofisticados sin estar físicamente presente junto a esos instrumentos (Arg). Es importante tener en cuenta que muchas veces no se puede realizar la manipulación remota por tanto, esta no es el principal objetivo de la microscopía virtual. García Rojo y Alfaro Ferreres lo mencionan en el Capítulo 9 del Manual de Telepatología Dinámica (FERRERES Luis. A., 2001): *“El objetivo principal de un microscopio virtual no es la manipulación remota de instrumental científico (microscopios ópticos, microscopios electrónicos, de fluorescencia, etc.), pues existen numerosos fabricantes de microscopios, cámaras y sistemas robotizados cerrados, que impiden la creación de sistemas universales”*.

Entonces, sólo se puede hablar de telemicroscopía dinámica si se cumplen dos requisitos: (i) que el usuario remoto pueda seleccionar qué imagen desea recibir y, (ii) que la transmisión y recepción de la imagen seleccionada sean inmediatas.

Algunos autores prefieren reservar el término telemicroscopía dinámica para el envío en tiempo real de imágenes no comprimidas en color real, aplicando el término telemicroscopía cinética para referirse a los demás casos (O., y otros, 1998).

En las formas híbridas de telemicroscopía, puede existir la intervención humana o de un programa informático que realiza la selección de las imágenes a transmitir. Estas poseen la ventaja de precisar un menor ancho de banda y poder utilizarse en redes lentas enviando incluso imágenes con alta resolución (E., y otros, 1997). Algunas de estas formas híbridas constan de cámaras conectadas al microscopio que incorporan a la vez microscopía en tiempo real, imágenes estáticas además de proporcionar comunicación visual y auditiva entre los usuarios (J, y otros, 2000).

En resumen, los sistemas de telemicroscopía se pueden clasificar:

Tabla 2: Clasificación de los sistemas de Telemicroscopía

| <b>Según interacción entre usuarios</b>              | <b>Según el contenido transmitido</b>   |
|--|---|
| Telemicroscopía robotizada presencial o interactiva. | Trasmisión de vídeo (macroscopía y microscopía): Videoconferencia.            |
| Microscopios Virtuales o Preparaciones virtuales.    | Trasmisión de imágenes estáticas representativas (macroscopía y microscopía). |
| Telemicroscopía estática o bajo demanda.             | Digitalización total de la preparación (sólo microscopía).                    |
| Telemicroscopía en tiempo real o dinámica.           | Sistemas mixtos: vídeo e imágenes digitalizadas.                              |

Fuente: Autores

## **2.5 MODELO CLIENTE-SERVIDOR**

Desde el punto de vista funcional, en el modelo Cliente/Servidor Hay dos procesos involucrados, uno en la máquina del cliente y otro en la máquina del servidor. La comunicación toma la siguiente forma: el proceso cliente envía una solicitud a través de la red al proceso servidor y espera una respuesta. Cuando el proceso servidor recibe la solicitud, realiza el trabajo que se le pide o busca los datos solicitados y devuelve una respuesta (S., 2003).

### **2.5.1 Cliente**

El cliente es el proceso que permite al usuario formular los requerimientos y pasarlos al servidor. Normalmente maneja todas las funciones relacionadas con la manipulación y despliegue de datos, por lo que están desarrollados sobre plataformas que permiten construir interfaces gráficas de usuario (GUI), además de acceder a los servicios distribuidos en cualquier parte de una red. Las funciones que se pueden llevar a cabo el proceso cliente se resumen en las siguientes: administrar la interfaz de usuario, interactuar con el usuario, procesar la lógica de la aplicación y hacer validaciones locales, generar requerimientos de bases de datos, recibir resultados del servidor y formatear resultados.

### **2.5.2 Servidor**

Es el proceso encargado de atender a múltiples clientes que hacen peticiones de algún recurso administrado por él. El servidor maneja todas las funciones relacionadas con la mayoría de las reglas del negocio y los recursos de datos. Las funciones del servidor se pueden resumir en aceptar los requerimientos de bases de datos que hacen los clientes, procesar requerimientos de bases de datos, formatear datos para transmitirlos a los clientes, además de procesar la lógica de la aplicación y realizar validaciones a nivel de bases de datos.

## **2.6 REDES PARA COMUNICACIONES EN TIEMPO REAL Y TELEOPERACIÓN (Sta)**

Las redes para telemicroscopía deben tener características especiales. La telemicroscopía en tiempo real requiere un ancho de banda mucho mayor puesto que un fragmento de video de sólo algunos segundos puede ocupar bastantes MBytes, dependiendo de la resolución, el tamaño de la imagen y si está o no comprimido mediante alguna de las técnicas existentes.

Los sistemas de telemicroscopía en tiempo real requieren la transferencia continua de datos sobre períodos de tiempo relativamente altos, sincronización en el despliegue de los diferentes tipos de datos (por ejemplo voz y sonido), espacios de almacenamiento grande, manejo en tiempo real y técnicas especiales de indexación y recuperación de los datos.

### **2.6.1 Requerimientos de red para telemicroscopía en tiempo real**

Desde el punto de vista de la red, los requerimientos más importantes para los sistemas de telemicroscopía en tiempo real son:

- Ajuste de la velocidad: las redes deben soportar tasas de bits constantes, variables y de ráfagas, de hasta varias decenas de Mbps por cada conexión establecida, para necesidades diferentes y cambiantes. Por ejemplo, unos pocos Kbps son necesarios para llevar a cabo rutinas de reporte o de control pero se requieren muchos Mbps para poder transmitir imágenes de alta resolución o para comunicaciones de video de alta definición.
- Conexiones sobre demanda: una estructura de comunicación que pueda realizar un manejo dinámico de las distintas conexiones involucradas lo cual estaría relacionado, además, a si la conexión es punto a punto o si es multipunto.
- Sincronización: Se necesita desde la sincronización de conexiones de comunicación de diferentes tipos de información mutuamente

independientes (por ejemplo video con su correspondiente audio) hasta la sincronización que involucra el manejo de tiempo real.

- Calidad del servicio bajo demanda: se debe definir la calidad del servicio, que es un conjunto de parámetros que incluye la velocidad, la utilización del medio de transmisión, el promedio del retardo, la tasa de error y de pérdida de los paquetes.
- Estandarización de los servicios y tareas complementarias que soporten las aplicaciones multimedia, por ejemplo, la compresión/ descompresión de datos, los servicios orientados y los no orientados a la conexión, etc.

Para implementar sistemas de telemicroscopía en tiempo real sería muy útil implementar métodos efectivos que gestionen el tráfico y controlen la congestión porque estos sistemas no reciben un buen soporte en redes IP, las cuales fueron diseñadas para transporte de datos en LAN (Willian, 2004).

### **2.6.2 Propiedades deseables para comunicaciones en tiempo real**

El tráfico en una red o interred puede dividirse en dos categorías: elástico y no elástico. La telemicroscopía en tiempo real usa el tráfico no elástico. Este no se adapta con facilidad a las variaciones de retardo y rendimiento a lo largo y ancho de una interred.

Las aplicaciones en tiempo real se preocupan por el tiempo, es decir, se pide el requisito de que los datos sean entregados a una velocidad constante, igual a la velocidad de envío.

Por otro lado (C., y otros, 1994) enumera las siguientes propiedades deseables para la comunicación en tiempo real:

- Baja fluctuación de retardo (jitter)
- Baja latencia

- Capacidad de integrar fácilmente servicios en tiempo real y servicios que no sean en tiempo real.
- Capacidad de adaptación dinámica a condiciones de tráfico y de red cambiantes.
- Buen rendimiento para redes grandes y gran capacidad de conexiones.
- Requisitos modestos para los buffers dentro de la red.
- Utilización de la capacidad de manera altamente efectiva.
- Baja redundancia de bits de cabecera por paquete.
- Baja redundancia de procesamiento por paquetes dentro de la red y en el sistema final.

Estos requisitos son difíciles de satisfacer en una red IP de área extensa y en interredes debido a los retardos variables de colas y pérdidas debidas a la congestión. Ni TCP ni UDP por sí mismos resultan apropiados. RTP podría proporcionar una base razonable para solventar estos aspectos.

### **2.6.3 Protocolos de transporte en tiempo real** (Stallings, 2000)

El protocolo más usado a nivel transporte es TCP. Aunque TCP ha demostrado su valía dando soporte a una amplia variedad de aplicaciones distribuidas, no es adecuado para su uso en el caso de aplicaciones distribuidas en tiempo real. Son varias las características de TCP que lo invalidan como protocolo de transporte para tales aplicaciones:

1. TCP es un protocolo punto a punto que establece una conexión entre dos extremos. Por lo tanto no es adecuado para la multidifusión.
2. TCP posee mecanismos para la retransmisión de segmentos perdidos que llegan posteriormente fuera de orden. Tales segmentos no se pueden aprovechar fuera de su sitio en el caso de las aplicaciones en tiempo real.
3. TCP no dispone de un mecanismo adecuado que asocie la información sobre tiempos a los segmentos, que es otra de las exigencias del tiempo real.

El otro protocolo de transporte utilizado el UDP, no posee las dos primeras características citadas pero, al igual que TCP, no suministra información sobre

tiempos. Por si mismo, UDP no proporciona herramienta alguna de empleo general que resulte útil para aplicaciones en tiempo real.

Aunque cada aplicación en tiempo real podría incluir sus propios mecanismos para dar soporte al transporte en tiempo real, existen varias características básicas que garantizan la definición de un protocolo común. Un protocolo estándar diseñado con esta finalidad es el protocolo de transporte en tiempo real o RTP (Real-Time Protocol) definido por la RFC 1889 (Group, 1996). RTP es el más adecuado para la comunicación en tiempo real no estricto, pero carece de los mecanismos para dar soporte al tráfico en tiempo real estricto.

Un protocolo de vídeo de transporte más adecuado debería utilizar un reconocimiento del flujo de vídeo (latencia, tipo de paquete) para determinar si la retransmisión es necesaria, si los errores pueden ser ignorados, o si el paquete simplemente se cae. Esto permitiría mayores velocidades de fotogramas, latencia limitada y menores variaciones del retardo, y utilizaría menos ancho de banda de red. Además, un protocolo adecuado para el vídeo sería capaz de proporcionar información a la aplicación, como la corriente de carga en la red, que podría ser utilizada por el software para ajustar de forma automática las tasas de bits (por ejemplo, mediante el ajuste de velocidad de fotogramas o la calidad).

También sería útil mejorar los protocolos de transporte para que estos dieran una mayor prioridad a la información relativa al control del microscopio, prefiriendo ésta a la secuencia de vídeo, para que los comandos del microscopio puedan ser entregados de manera oportuna, incluso cuando la red este congestionada. Esto permitiría el control en tiempo real del AFM, a expensas de una calidad de vídeo baja. Además, sería útil el uso de una herramienta de diagnóstico de red para mejorar el rendimiento de las comunicaciones pues el rendimiento impredecible red sigue siendo un obstáculo para el uso general de las aplicaciones de telemicroscopía.

En concreto, los protocolos de comunicación utilizados en la actualidad no pueden garantizar calidad de servicio a través de redes de área amplia. Esta limitación hace que sea excesivamente difícil de implementar sistemas de video para telemicroscopía y teleconferencia en tiempo real. Cuando uno está llevando a cabo tareas como el enfoque del microscopio de manera remota, es fundamental que el control y secuencias de vídeo se suministra con una latencia constante (es decir, sincronizado) para que el usuario puede determinar con facilidad cuando la secuencia de vídeo refleja los resultados del ajuste más reciente. Cuando la latencia fluctúa esto se hace muy difícil para el usuario. En última instancia, el Internet actual impone un serio impedimento para la adopción generalizada de telemicroscopía, telemedicina y otras aplicaciones a distancia.

Para superar las limitaciones que enfrentan internet en la actualidad sería conveniente una nueva implementación de TCP que apoye el tráfico constante de bits, tales como secuencias de vídeo. IPv6 aborda las limitaciones de IPv4 permitiendo mecanismos para un mejor manejo de flujos de tráfico heterogéneo. Por ejemplo, el protocolo IPv6 contiene una "etiqueta de flujo" de cabecera que se pueden utilizar para describir un flujo de red en particular. Este campo puede ser utilizado por la infraestructura de red para dar trato diferente a los paquetes asociados con tipos de flujo específico. Además, la calidad de los protocolos de servicios (tales como RSVP y DiffServ, desplegados en redes IPv6) deberían mejorar en gran medida las sesiones telemicroscopía, ya que el ancho de banda de red se pueden reservar con antelación.

### **3. ESTADO DEL ARTE**

En primer lugar, esta parte hace referencia a proyectos sobre telemicroscopía bajo demanda y en tiempo real desarrollados a nivel global, latinoamericano, colombiano y local. Luego se hace una comparación entre algunos softwares para acceso remoto comerciales o de código abierto, que podrían ser usados para implementar telemicroscopía en tiempo real.

Las anteriores herramientas fueron probadas y exploradas en su mayoría, con el fin de tener una idea más clara acerca de un modelo del sistema que satisfaga las necesidades de los usuarios del AFM en cuanto a telemicroscopía.

#### **3.1 IMPLEMENTACIONES DE MICROSCOPIA VIRTUAL O TELEMICROSCOPIA**

El presente proyecto busca encontrar una solución económica, eficiente y rápida para implementar un sistema de telemicroscopía bajo demanda y telemicroscopía en tiempo real con el AFM, para ello se realizó un estudio de algunas herramientas o proyectos existentes en esas áreas.

##### **3.1.1 EXPERIENCIAS EN EL ÁMBITO INTERNACIONAL**

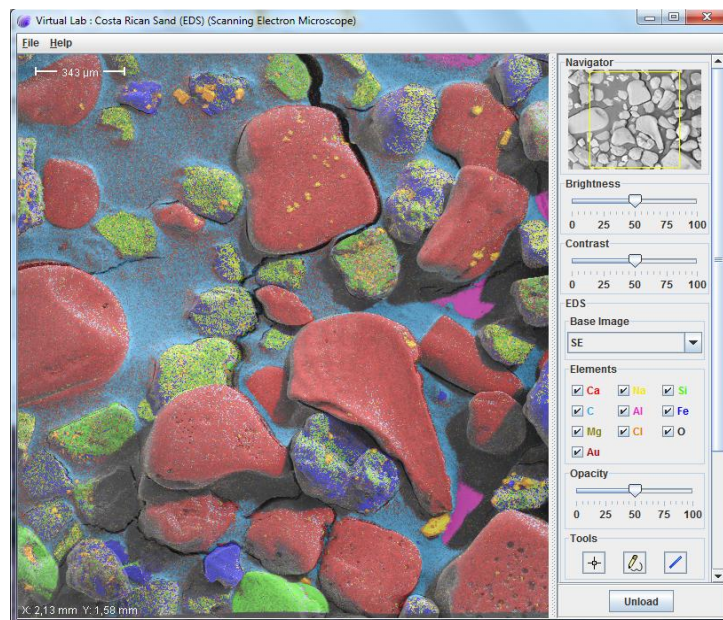
En esta parte se describen algunas de las aplicaciones más representativas a nivel internacional en microscopia Virtual o telemicroscopía. También resume algunos artículos relevantes sobre soluciones para telemicroscopía.

### 3.1.1.1 Virtual Microscope<sup>21</sup>

El Microscopio Virtual es un proyecto financiado por la NASA y desarrollado por la universidad Saint Leo en Estados Unidos que proporciona de manera simulada una instrumentación<sup>22</sup> virtual científica para estudiantes e investigadores de todo el mundo como parte de la iniciativa Laboratorio Virtual de la NASA. Es una aplicación de escritorio de código abierto<sup>23</sup> en JAVA™.

El microscopio virtual tiene como objetivo presentar al usuario un método para explorar los datos de la imagen pre-capturados como si se tratara de usar el instrumento real en tiempo real. En la siguiente figura se puede observar la interfaz de la aplicación en donde se observa una imagen obtenida de un Scanning Electron Microscope.

Figura 6: Interfaz del Virtual Lab



Fuente: Autores

<sup>21</sup> <http://virtual.itg.uiuc.edu/>

<sup>22</sup> Imágenes de 3 microscopios diferentes: A Philips Environmental Scanning Electron Microscope (ESEM), a Fluorescence Light Microscope (FLM), and an Atomic Force Microscope (AFM).

<sup>23</sup> Código fuente disponible en <http://sourceforge.net/projects/virtuallab/>

### **3.1.1.2 Telemicroscopy client software (NCM)**

Es una aplicación<sup>24</sup> .NET para telemicroscopía desarrollada en C# que controla de manera remota un microscopio electrónico Jeol 3200 y almacena sus imágenes.

Los usuarios pueden manipular parámetros como la ampliación de la imagen, el brillo y el enfoque. También pueden manipular el goniómetro<sup>25</sup> del microscopio electrónico, cambiando los parámetros tales como desplazamiento en X, Y, Z y la inclinación de la muestra de \ -60 a \ + 60 grados. La cámara CCD del microscopio proporciona el video en tiempo real de la imagen en alta resolución. Los usuarios pueden hacer clic del ratón en varios lugares de la plataforma en X y Y, además puede navegar rápidamente sobre grandes áreas de exploración de la muestra.

### **3.1.1.3 Plataforma OMERO (OME)**

OMERO (Open Microscopy Environment) es una aplicación web y de escritorio de código abierto desarrollada en JAVA<sup>TM</sup> Enterprise para la visualización, administración y análisis de imágenes de datos microscópicos.

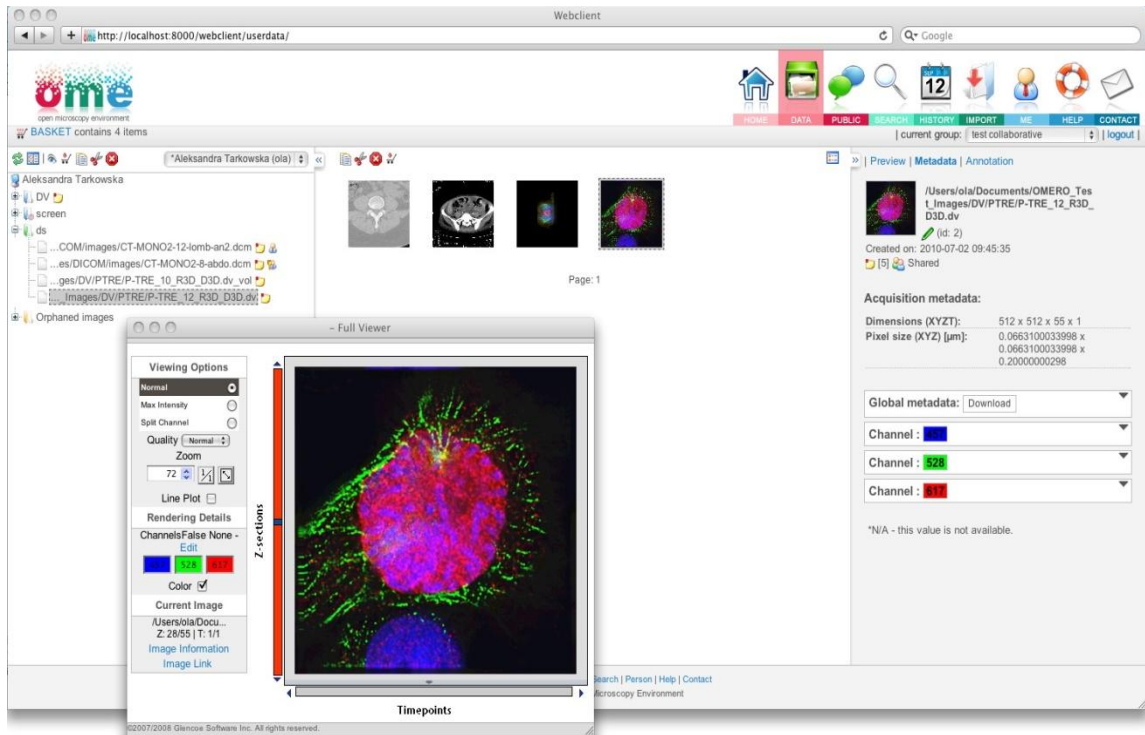
El software consta de un servidor llamado OMERO server el cual puede ser accesado por un cliente web en cualquier navegador, por un cliente importador para subir datos en el servidor, por un cliente editor para agregar comentarios sobre las imágenes y por un cliente para una visualización local más completa de las imágenes. Los clientes OMERO permiten al científico a administrar de forma remota, visualizar, anotar y medir imágenes multidimensionales desde cualquier lugar. OMERO también puede ser ampliado para admitir análisis de datos a través de MatLab<sup>TM</sup>.

---

<sup>24</sup> Propiedad del The National Center for Microscopy and Imaging Research, (NCMIR), de la Universidad de California en San Diego.

<sup>25</sup> Un goniómetro es un instrumento de medición con forma de semicírculo o círculo graduado en 180° o 360°, utilizado para medir o construir ángulos.

Figura 7: Visualización del diente web OMERO



Fuente: Autores

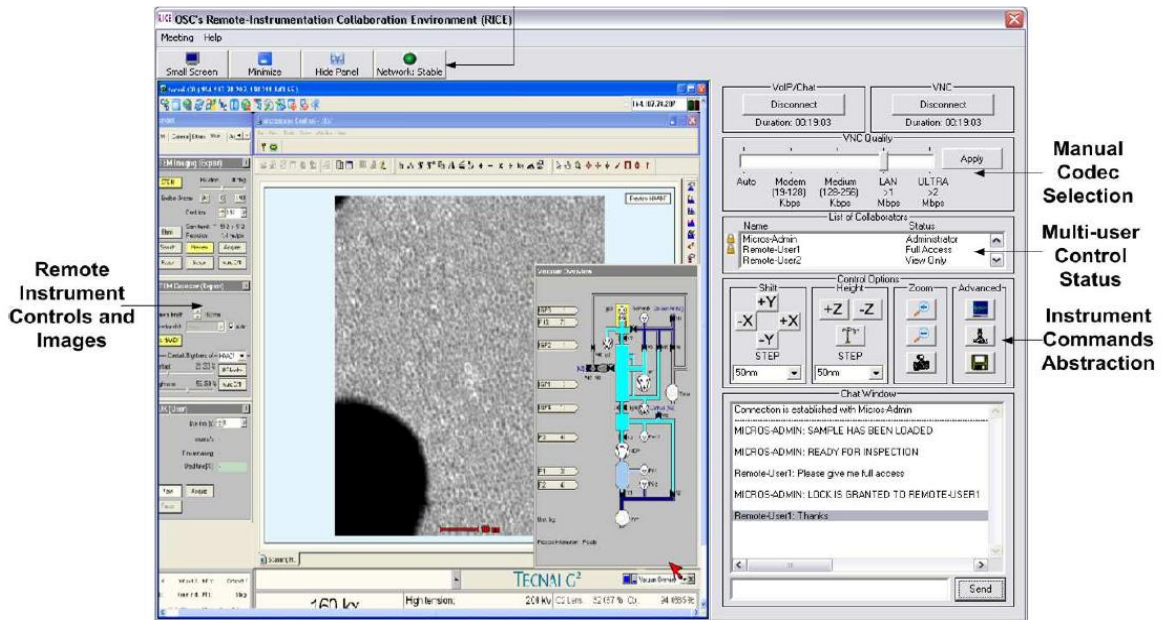
### 3.1.1.4 RICE (Remote Instrumentation Collaboration Environment) (Calyam, y otros, 2008)

Es una solución software derivada del VNC y apoyada en un KVMoIP<sup>26</sup> para minimizar los cuellos de botella y la latencia, generadas durante el acceso remoto en tiempo real al microscopio.

RICE tiene como objeto proporcionar un soporte confiable para la Telemicroscopía en Internet, buscando atender con eficacia la tele-observación y la Teleoperación.

<sup>26</sup> Funciona para redes LAN y WAN

Figura 8: prototipo RICE en una sesión activa



Fuente: Universidad de Ohio (Calyam, y otros, 2008)

La anterior figura muestra la interfaz de RICE. En la parte izquierda se encuentra la ventana para manejo remoto de los controles de la instrumentación y de la imagen. En la parte derecha se puede seleccionar manualmente el códec, VoIP chat, el tipo de conexión de la red, el control de estado de los usuarios, desplazamiento en X, Y, Z y comandos como zoom y guardar, entre otros.

### 3.1.2 EXPERIENCIAS EN EL ÁMBITO LATINOAMERICANO

En esta sección se expone un proyecto en microscopía virtual con microscopía electrónica de transmisión, desarrollado entre Argentina y Estados Unidos.

#### 3.1.2.1 Telemicroscopía entre la UBA y el NCMIR

Este proyecto fue desarrollado por los doctores Capani, Crespo y Monserrat de la Facultad de Medicina en la *Universidad de Buenos Aires* (UBA) - Argentina, en colaboración con el *National Center for Microscopy and Imaging Research* (Adv11) (NCMIR) de Estados Unidos, dirigido por el Prof. Dr. Mark H Ellisman.

El proyecto se ejecutó 2003, cuando se operó desde Buenos Aires un microscopio electrónico de alto voltaje del NCMIR, a través de la Red de Teleinformática Académica, RETINA y la red avanzada CLARA.

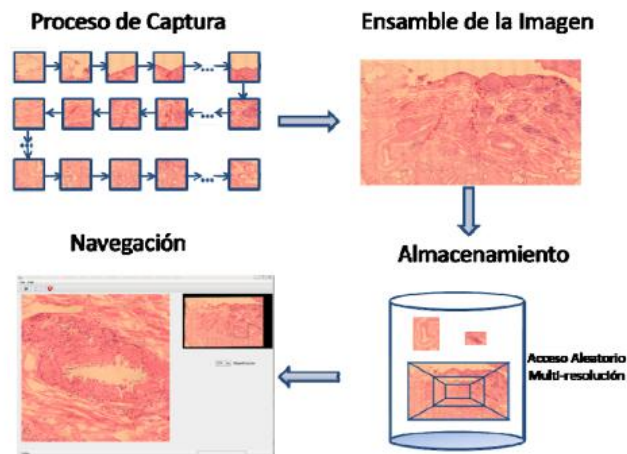
### 3.1.3 EXPERIENCIAS EN COLOMBIA

A continuación se muestran algunos proyectos en telemicroscopía desarrolladas por el grupo BioIngenium de la Universidad Nacional de Colombia.

#### 3.1.3.1 Navegación en microscopía virtual usando estrategias de cache

Este proyecto dio origen a un sistema de código cerrado para el análisis virtual de imágenes médicas, llamado Microscopio Virtual. En palabras de la investigadora Marín, la meta de este proyecto era *“Optimizar la navegación en la microscopía virtual, teniendo en cuenta los inconvenientes más comunes en la navegación virtual, como el retraso en tiempo. Es así como se debe tratar de predecir el comportamiento de un usuario con el fin, de a priori conocer las porciones de interés y generar reemplazos acertados de información dentro de la cache”*<sup>27</sup>.

Figura 9: Prototipo del Microscopio Virtual de BioIngenium UNAL-Colombia



Fuente: Predicción de la navegación en microscopía virtual en-línea<sup>28</sup>

<sup>27</sup> Más en: <http://noticias.universia.net.co/publicaciones/noticia/2010/01/10/258682/sistema-microscopia-virtual-estrena-universidad-nacional.html>

<sup>28</sup> Ver: <http://www.renata.edu.co/index.php/proyectos-en-realizacion-convocatorias-2009-l-z/1299-prediccion-de-la-navegacion-de-patologos-en-imagenes-de-alta-resolucion-en-microscopia-virtual-en-línea.html>

### **3.1.3.2 Predicción de la navegación en imágenes en microscopia virtual en-línea<sup>29</sup>**

Es un proyecto desarrollado por el grupo BioIngenium de la Universidad Nacional de Colombia y la facultad de medicina de la Universidad Industrial de Santander, UIS con vigencia 2010.

El propósito de este proyecto es formular e implementar modelos para la navegación de patólogos, tanto remota como en línea, sobre herramientas de microscopia virtual en imágenes de alta resolución correspondientes a placas de histopatología. El proyecto plantea la formulación, implementación y validación de un modelo computacional para la navegación óptima de expertos ubicados en locaciones remotas por medio de un sistema distribuido cliente servidor sobre TCP/IP a través de las prestaciones avanzadas de la red RENATA.

### **3.1.3.3 Plataforma para el acceso remoto vía RENATA a instrumentación avanzada**

Se trata de una plataforma para acceso remoto vía RENATA a recursos de laboratorio, inicialmente un grupo de instrumentos científicos en red a través de la interfaz GPIB (Amplificador Lock-in, Osciloscopio digital de alta velocidad, generador digital de onda arbitraria, nanovoltímetro, fuente de corriente de precisión y fuente de voltaje de precisión) y a un Microscopio de Fuerza Atómica (AFM) Nanosurf easyscan2. Los instrumentos están localizados en la universidad EAFIT en Medellín, la cual está conectada a la red académica regional RUANA, y serán operados en la fase de implementación y pruebas desde la universidad Nacional sede Manizales, conectada a la red académica regional RADAR, y desde el Laboratorio Nacional de Luz Sincrotrón (LNLS) en Brasil, vía la red Latinoamericana CLARA.

---

<sup>29</sup> Sin embargo, a enero de 2011 este proyecto se encuentra en desarrollo.

### **3.1.4 EXPERIENCIAS EN EL ÁMBITO LOCAL**

En las fuentes consultadas a nivel de Bucaramanga se encontró un proyecto que trata sobre telemicroscopía bajo demanda o estática.

#### **3.1.4.1 Herramienta web CRIB<sup>30</sup>**

La herramienta CRIB fue desarrollada por el Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad Industrial de Santander para integrar herramientas de comunicación asíncronas en un espacio virtual que permite la interacción entre patólogos para interconsultar diagnósticos clínicos, se pueden enviar imágenes, registrar usuarios, hacer seguimiento, etc.

### **3.2 SOFTWARES PARA ESCRITORIOS REMOTOS**

Esta parte estudia algunos softwares de código abierto para encontrar una herramienta idónea<sup>31</sup> que permita realizar el acceso remoto, en el caso de que la programación de una aplicación para este fin resulte demasiado compleja no cumpla con requisitos planteados en la sección 2.6.

A continuación se muestran dos tablas con algunos softwares de escritorio remoto con licencia GPL probados para conocer sus características. La primera tabla resume algunas aplicaciones desarrolladas en varios lenguajes de programación™ y en la segunda muestra herramientas desarrolladas con JAVA™.

---

<sup>30</sup> Desarrollado por Perez Johan y Villamizar Olivo. Proyecto de Pregrado. Universidad Industrial de Santander. Disponible en <http://tangara.uis.edu.co/biblioweb/>

<sup>31</sup> Que cumpla con los requisitos para comunicaciones en tiempo real planteados en la sección 2.6.2 y use los protocolos adecuados para esto, como los expuestos en la sección 2.6.3.

### 3.2.1.1 Softwares GPL para escritorio remoto utilizados en pruebas

Tabla 3: Softwares GPL Probados

| Software | Protocolo         | Cliente/Servidor | Encriptado | Trasferencia de archivos | Soporte de audio | Múltiple sesión | Cliente Linux | Cliente Mac | Cliente Windows | Cliente JAVA™ |
|----------|-------------------|------------------|------------|--------------------------|------------------|-----------------|---------------|-------------|-----------------|---------------|
| EchoVNC  | RFB(VNC)          | Cliente/Servidor | Si         | Si                       | No               | Si              | Si            | No          | Si              | No            |
| FreeNX   | NX, RDP, RFB(VNC) | Cliente/Servidor | AES        | Si                       | Si               | Si              | Si            | Si          | Si              | No            |
| iTALC    | RFB(VNC)          | Cliente/Servidor | SSH        | No                       | No               | Si              | Si            | No          | Si              | No            |
| rdsktop  | RFB(VNC)          | Sólo Cliente     | Si         | Si                       | Si               | Si              | Si            | Si          | Si              | Si            |
| FreeRDP  | RDP               | Sólo Cliente     | Si         | Si                       | Si               | Si              | Si            | Si          | Si              | No            |

Fuente: Autores

Terminología:

- **Soporte de audio:** el software de control remoto permite transferencia de señales de audio a través de la red y se reproduce el audio a través de los altavoces conectados al equipo local.
- **Encriptado integrado:** el software tiene al menos un método de encriptación de los datos entre las computadoras locales y remotas, y el mecanismo de cifrado está incorporado en el software de control remoto.
- **Transferencia de archivos:** el software permite al usuario transferir archivos entre las computadoras locales y remotas, desde dentro del software del usuario de la interfaz de cliente.

### 3.2.1.2 Softwares GPL para escritorio remoto en JAVA™ utilizados en pruebas

Tabla 4: Softwares GPL en JAVA probados

| Software                              | Protocolo   | Tecnología | Capacidad de red | Servidor/Cliente/<br>Cliente Web | Múltiple Sesión | Encriptado | Autenticación | Compresión de<br>Datos | Calidad de Imagen | Calidad de Color | Trasferencia de<br>archivos | Chat |
|---------------------------------------|-------------|------------|------------------|----------------------------------|-----------------|------------|---------------|------------------------|-------------------|------------------|-----------------------------|------|
| Robo                                  | Propietario | Socket     | WAN              | Servidor/Cliente/<br>Cliente Web | Si              | SSL        | Si            | Si                     | No                | Si               | No                          | No   |
| Proper Java<br>RDP                    | RDP         | Socket     | WAN              | Cliente                          | No              | RC4        | Si            | No                     | No                | Si               | No                          | No   |
| J Remote<br>Desktop                   | Propietario | RMI        | WAN              | Servidor/Cliente                 | No              | No         | Si            | No                     | No                | No               | No                          | No   |
| Java Remote<br>Desktop<br>(jrdesktop) | Propietario | RMI        | LAN              | Servidor/Cliente/<br>Cliente Web | Si              | SSL        | Si            | No                     | Si                | Si               | Si                          | No   |

Fuente: Autores

## **4. ANÁLISIS DEL ESTADO DEL ARTE Y JUSTIFICACIÓN DE DECISIONES**

En la sección 3 y en la 2.1 se analizaron algunas herramientas que podrían ser útiles para la implementación de un sistema de telemicroscopía bajo demanda o un sistema de telemicroscopía en tiempo real, teniendo en cuenta limitaciones técnicas en cuanto a transferencia de datos, retardo en la transmisión y consumo de recursos del sistema, entre otros aspectos. Por tales motivos se escogieron herramientas que podrían contribuir al presente proyecto de manera económica, eficiente, simple y de rápida para implementar:

- Telemicroscopía bajo demanda
- Telemicroscopía en tiempo real
- Red de transmisión

### **4.1 TELEMICROSCOPIA BAJO DEMANDA**

Luego de estudiar las opciones planteadas en la sección 3.1 se resolvió utilizar la plataforma de código abierto para telemicroscopía bajo demanda OMERO<sup>32</sup>, para la implementación de telemicroscopía bajo demanda por ser opción más viable en cuanto tiempo y costo de desarrollo. Al ser OMERO una poderosa herramienta de código abierto, es posible modificar su código fuente para adaptarlo a las necesidades de la implementación para telemicroscopía bajo demanda con un AFM, sin preocuparse por la implementación de protocolos para la visualización, navegación en imágenes microscópicas, tratamiento de imágenes y señales, filtros de colores, seguridad, formatos de imágenes, etc., ya que éstos vienen implementados en este sistema. Gracias a que el servidor OMERO posee un cliente web, este podrá ser accedido mediante un navegador web en cualquier sistema operativo.

---

<sup>32</sup> Ver sección 3.1.1.3

## 4.2 TELEMICROSCOPIA EN TIEMPO REAL

Luego de revisar las secciones 2.1, 2.6 y la 3.2, se concluyó que desarrollar un sistema de telemicroscopía en tiempo real es complejo y costoso. Para desarrollarlo debe tenerse en cuenta la calidad de servicio, protocolos eficientes para compresión de datos, una red especial para comunicaciones multimedia, entre otras cosas expuestas en la sección 2.6.

Teniendo en cuenta lo anterior hay dos alternativas para implementar el presente proyecto:

1. Que se construya todo un sistema de telemicroscopía (con los módulos para telemicroscopía en tiempo real y para telemicroscopía bajo demanda) que incluya las características necesarias para la implementación de un sistema de telemicroscopía confiable y con calidad de experiencia de usuarios.
2. Que se proponga una solución para telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda basada en la integración de herramientas de código abierto o comercial que disminuyan el costo y tiempo de desarrollo, teniendo en cuenta la calidad de servicio y supliendo los inconvenientes típicos presentados durante teleoperación en tiempo real.

### 4.2.1 Alternativa 1

En primer lugar, se intentó construir un sistema para telemicroscopía desde cero comenzando con un prototipo inicial del subsistema para telemicroscopía en tiempo real. El prototipo inicial constaba de dos aplicaciones RMI<sup>33</sup> de java, el cliente y el servidor.

El servidor constaba de: *MouseServidor.java*, *MouseImplementacion.java* y *Mouse.java*. Adicionalmente se creó el Stub, que es parte fundamental del

---

<sup>33</sup> Remote Metode Invocation

protocolo RMI. La clase *Muse.java* es la interface entre el cliente y el servidor. En ella estaban definidos todos los métodos que podrán ser accesibles desde el cliente. Esta clase extiende la clase de RMI *remote*. En la clase *MouseImplementacion.java* estaban los métodos que se indicaron en la interface, por esta razón se implementa la interface y se extiende la clase de RMI *UnicastRemoteObject*, dado que este objeto será el accesado de forma remota. Estos métodos usan la clase *robot* para realizar los movimientos del mouse, las coordenadas se reciben de forma remota cuando el cliente llama el método y da como parámetro las coordenadas. La clase *MouseServidor.java* era el servidor. En ella se define la política de seguridad, y se crea un objeto de la clase *MouseImplementacion*, que es el objeto que será accesado de forma remota, este objeto se le da un nombre, que será el que usara el cliente.

El cliente constaba de *GUICliente.java*. Cuando este se compila se obtiene: *GUICliente.class*. Adicionalmente el cliente estaba conformado por: *Mouse.class*, *MouseImplementacion\_Stub.class* y *client.policy*, los cuales son la interfase que creamos en el servidor, las políticas de seguridad y el *Stub*. Estos son los que permitirán la conexión con el servidor y el uso de los métodos del objeto remoto. En la clase *GUICliente.java* se crea una ventana del tamaño de la resolución de la pantalla del servidor para que las coordenadas de la ventana coincidan con las posiciones de la pantalla del servidor. Para que la colección sea posible se crea un objeto de tipo *Mouse*, que es la interface que recibimos del servidor, y realizamos la colección con la política de seguridad que recibimos también. Aquí se llaman los métodos que el servidor nos provee y se dan como parámetros la posición actual del *Mouse* con respecto a la ventana creada, de esta forma controlando a ciegas remotamente el *Mouse* del servidor.

En la medida que se iba desarrollando este prototipo, iban apareciendo más y más requisitos y necesidades no funcionales que no se habían tenido en cuenta al principio del proyecto, pero que eran necesarias para que el servicio fuese de calidad y estuviese más cercano al tiempo real, por tanto, se concluyó que hacer

que éste se acerque al tiempo real es complejo pues debe usarse un red con el ancho de banda adecuado; integrarse algoritmos para la compresión sin pérdidas de datos, para mantener la calidad del color, de la imagen; se deben implementar protocolos para la comunicación VoIP y videoconferencia; se debe implementar la seguridad; etc. Por otro lado la comunicación en tiempo real también depende de la red de transmisión, es decir, depende de que durante la transmisión de los datos no se presenten cuellos de botellas ni congestión en la red.

En conclusión, la Alternativa 1 no es viable debido a que implican un alto costo tanto económico como en tiempo de desarrollo, además de tener una complejidad de implementación elevada.

#### **4.2.2 Alternativa 2**

Escoger una solución software o una solución software basada en hardware, ya sea código abierto y/o comerciales (de bajo costo) para usarlas para cumplir con los requisitos de telemicroscopía en tiempo real de este proyecto es una alternativa viable debido a que baja los costos y el tiempo de implementación.

Para Telemicroscopía en tiempo real con herramientas de código abierto hay varias soluciones que se utilizan en la práctica. La solución más común está basada en Virtual Network Computing (VNC) y sus derivados. También pueden usarse los softwares mencionados en las tablas de las secciones 3.2.1.1 y 3.2.1.2 siempre y cuando sean eficientes para la implementación de telemicroscopía en tiempo real. Luego haberlos probado se observó que la mayoría, a excepción de

Alternamente, una solución basada en el hardware KVMoIP (Teclado, Vídeo y Ratón sobre IP) supera los obstáculos latencia de compresión. Para ello un servidor VNC viene pre-instalado en el KVMoIP, para crear un canal de comunicación eficiente en comunicaciones en tiempo real que puede ser accesado a través de un cliente VNC remoto. Sin embargo, un par de aparatos codificador y

decodificador es necesario instalar en los extremos del microscopio y el usuario, respectivamente. El KVMoIP utiliza una FPGAs<sup>34</sup> dedicada para la codificación rápida de la transferencia de imágenes de vídeo y una CPU dedicada para el manejo de teclado y ratón de control del tráfico<sup>35</sup>, lo que hace que el uso de un KVMoIP sea óptimo y confiable para la implementación de telemicroscopía en tiempo real. El único inconveniente es el costo<sup>36</sup>, por lo tanto no puede ser implementado en este proyecto. Además, en cada cliente debe haber uno de ellos. A continuación se muestra un esquema del funcionamiento de un KVMoIP operado mediante monitor, teclado y ratón.

Figura 10: Esquema de funcionamiento del KVM sobre IP



Fuente: System

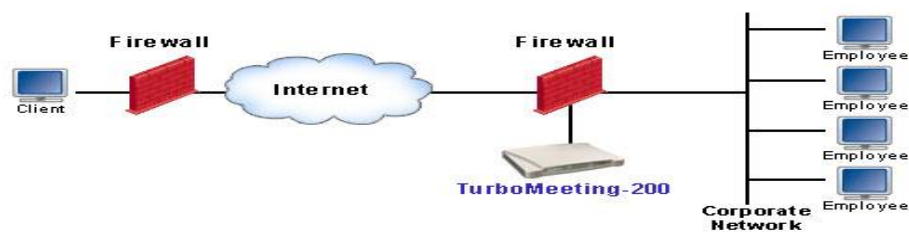
<sup>34</sup> FPGA (del inglés Field Programmable Gate Array) es un dispositivo semiconductor que contiene bloques de lógica cuya interconexión y funcionalidad puede ser configurada 'in situ' mediante un lenguaje de programación especializado.

<sup>35</sup> Prasad Calyam, Nathan Howes, Abdul Kalash, Mark Ha fffner. User and Network Interplay in Internet Telemicroscopy. OARnet/The Ohio State University. IEEE. 2008. ICST 978-963-9799-06-6

<sup>36</sup> Aproximadamente \$ 8.000.000

Por otro lado, usar una solución hardware-software RHUB (Real-Time Collaboration Hub) es una solución viable debido a que mejora los problemas de latencia mediante un hardware que actúa como un servidor de aplicaciones habilitado para videoconferencia, acceso remoto, soporte remoto de hardware y otras conexiones peer-to-peer o uno a muchos y múltiples plataformas. En el servidor de aplicaciones viene instalado el software TurboMeeting, el cual puede ser accedido por un cliente del mismo mediante una sesión de usuario. Abajo se muestra un esquema de funcionamiento donde un cliente accede a un canal dedicado al servidor RHUB<sup>37</sup> TurboMeeting 200 (TM) para llegar de una forma rápida y confiable a los terminales de la red corporativa.

Figura 11: Esquema de funcionamiento del TurboMeeting



Fuente: RHub Communications

En conclusión, usar el TurboMeeting es una alternativa viable<sup>38</sup> debido a que la Universidad Industrial de Santander posee uno de estos aparatos. Tiene varias ventajas como usar poca memoria y requerimientos mínimos de recursos de CPU, funciona bien con anchos de banda pequeños y ofrece ventajas significativas sobre otras soluciones reconocidas en el mercado como LogMeIn Rescue o Citrix GoToMeeting debido a menor coste total de propiedad, mejora de la seguridad de acceso, no requiere soporte de TI e integración de funciones para mejorar la usabilidad en los entornos de los clientes<sup>39</sup>.

<sup>37</sup> Un concentrador o hub es un dispositivo que permite centralizar el cableado de una red y poder ampliarla.

<sup>38</sup> Desarrollar totalmente una herramienta similar implicaría grandes costos de desarrollo y tiempo debido a que es difícil implementar sistemas para teleoperación en tiempo real porque se debe diseñar teniendo en cuenta las deficiencias actuales de internet para comunicaciones en tiempo real y los requerimientos expuestos en la sección 2.6.

<sup>39</sup> Una licencia de por vida TM-200 puede costar en \$ 995 y viene para un máximo de 4 salas de reuniones.

### **4.3 RED DE TRANSMISIÓN**

Como se expuso en la sección 2.3, un sistema de telemicroscopía requiere una red capaz de transmitir datos de alta resolución (en 2D y 3D) y eventos de teclado y ratón en tiempo real. La calidad de experiencia del usuario (QoE) es muy sensible a los cuellos de botella causados por la congestión del tráfico y fallos de red y el control del usuario durante retardos causados debido a cuellos de botella de la red debe ser riguroso porque podrían causar daños físicos al microscopio.

Por lo tanto, es vital entender la interacción entre peticiones enviadas desde el cliente remoto mediante teclado y ratón (es decir, el control de tráfico TCP) hacia el microscopio y las reacciones de red hacia el cliente correspondientes al transporte de imágenes de video en tiempo real del microscopio (es decir, tráfico de medios RTP hacia el usuario).

El rendimiento de la red influye considerable en la eficacia y la usabilidad de los sistemas de telemicroscopía porque la red debe entregar un flujo de vídeo a color desde el sitio microscopio para uno o más sitios remotos. Las secuencias de vídeo deben tener tasas de bits constantes. El sistema utilizado para el acceso remoto debe usar un protocolo para la compresión, el protocolo TCP para el transporte, y un protocolo de control de flujo a medida que trata de maximizar la velocidad de fotogramas.

#### **4.3.1 Implementación de RENATA<sup>40</sup>**

Enviar datos a través de una red de transmisión dedicada a proyectos de investigación específicos presenta mejor rendimiento si se compara el envío de los mismos datos pero a través de internet estándar. Por tales motivos se recomienda el uso de RENATA (red de tecnología avanzada) para la implementación de proyectos de telemicroscopía en tiempo real.

---

<sup>40</sup> Basado en la información disponible en <http://www.renata.edu.co>

Con RENATA<sup>41</sup>, la comunidad académica podrá desarrollar proyectos de e-ciencia o educación que integren elementos de:

- Comunicaciones presenciales integradas: voz sobre IP, video por demanda (VOD), videoconferencia, transmisión en directo de eventos (streaming), transferencia de datos, colaboración interactiva, video de alta calidad, televisión y radio sobre IP, entre otras.
- Recursos de citación y publicación: bibliotecas digitales, repositorios de acceso abierto, directorios digitales, bases de datos digitales.
- Procesamiento masivo y distribuido: mallas computacionales (GRIDs), almacenamiento distribuido, servidores espejo (mirroring), supercomputación, clusters.
- Acceso a recursos remotos: instrumentación remota, telescopios, microscopios, laboratorios virtuales y robots.

Por otro lado, RENATA ofrece los siguientes servicios a sus instituciones conectadas:

- Conectividad: disposición de una infraestructura tecnológica de alta capacidad y velocidad para la comunicación, el intercambio de información y el trabajo colaborativo.
- Videoconferencia: transmisión de conferencias virtuales mediante la conexión de varias salas que permitirán la interacción a través de señales de audio y vídeo.
- RENATA en vivo (streaming): transmisión en vivo y en directo de eventos de interés para la comunidad académica.

---

<sup>41</sup> RENATA es administrada por la Corporación RENATA, de la cual son miembros las Redes Académicas Regionales, el Ministerio de Educación, el Ministerio de Tecnologías de la Información y las Comunicaciones y Colciencias.

- Oficina Virtual: herramienta (software) que facilita el trabajo colaborativo entre varios participantes a través del intercambio de voz, vídeo, documentos y presentaciones, entre otras posibilidades.

En conclusión, se recomienda implementar telemicroscopía con una red dedicada, por lo tanto, RENATA es la más apropiada para la implementación.

### **4.3.2 Implementación de IPv6**

Se recomienda implementar el protocolo de la capa de red IPv6 (Versión 6 del protocolo de internet) junto con RENATA. Este protocolo fue diseñado para sustituir la versión que se usa actualmente (IPv4), la cual tiene grandes limitaciones en cuanto a transmisión de datos multimedia.

Entre las características<sup>42</sup> IPv6 están:

- Espacio de direcciones prácticamente infinito
- Posibilidad de autoconfiguración de varios dispositivos con puertos de red (computadoras, ruteadores, teléfonos, etc.)
- Mejor soporte para seguridad
- Computación móvil
- Calidad de servicio
- Un mejor diseño para el transporte de tráfico multimedia en tiempo real
- Aplicaciones para anycast y multicast
- Mecanismos de transición gradual de IPv4 a IPv6 y de comunicación entre equipos de ambas versiones

En conclusión, para el presente proyecto se tratará de implementará IPv6 con UDP/RTP<sup>43</sup> para mejorar la calidad de servicio en aplicaciones de telemicroscopía en tiempo real.

---

<sup>42</sup> Más información en IPv6-Mexico: <http://www.ipv6.unam.mx/> y en IPv6 para todos <http://www.consulintel.es/pdf/ipv6paratodos.pdf>

## 5. METODOLOGÍA

La metodología de la ingeniería de la Interacción humano-máquina tiene en cuenta tanto a los usuarios como a las métricas o atributos de usabilidad durante todas las etapas de desarrollo, por tanto, es un enfoque adecuado para la realización del presente proyecto, pues relaciona las tareas del sistema con los usuarios y su contexto de uso. A continuación se expondrán los conceptos necesarios para comprender la esta metodología.

### 5.1 INTERACCIÓN HUMANO-MÁQUINA, IHM

La Association for Computing Machinery (ACM) define Interacción Hombre-Máquina o Interacción Hombre-Computadora como *"El diseño, la evaluación y la implementación de sistemas interactivos de computación para el uso humano, así como los principales fenómenos que los rodean"*.

A menudo la IHM se considera como la intersección entre las ciencias de la computación, ciencias de la conducta, el diseño y varios otros campos de estudio. Dado que este es un campo muy amplio, han surgido áreas más especializadas, entre las cuales se encuentran Diseño de Interacción o de Interfaces de Usuario, Arquitectura de Información y Usabilidad:

- El Diseño de Interacción se refiere a la creación de la interfaz de usuario y de los procesos de interacción.
- La Arquitectura de Información apunta a la organización y estructura de la información brindada mediante el software.

---

<sup>43</sup> Real-time Transport Protocol (RTP). Is the protocol designed to handle real-time traffic on the Internet. RTP does not have a delivery mechanism; it must be used with UDP. Más información en el documento IPv6, RTP and RTC:  
[http://msc.helpingnotes.com/Electrical/ISPN/Lectures/PDF/Lecture3\\_IPv6,%20IPv6%20UDP,%20RTP%20and%20RTCP.pdf](http://msc.helpingnotes.com/Electrical/ISPN/Lectures/PDF/Lecture3_IPv6,%20IPv6%20UDP,%20RTP%20and%20RTCP.pdf)

- La Usabilidad se relaciona con el estudio de las interfaces y aplicaciones para hacerlas fáciles de usar, fáciles de recordar, fáciles de aprender, eficientes, con bajo coeficiente de error en su uso y que generen satisfacción en el usuario (atributos de usabilidad de J. Nielsen). Es la rama más cercana a la Ingeniería de Software, pues se relaciona con la funcionalidad del software y la plataforma sobre la que se desarrolla.

## **5.2 MODELOS MENTALES DE DONALD NORMAN<sup>44</sup>**

El funcionamiento de cualquier dispositivo se aprende con más facilidad si el usuario dispone de un buen modelo conceptual en su mente, por tanto, el diseñador debe elaborar un modelo conceptual adecuado para que el usuario capture las partes importantes del funcionamiento del dispositivo y pueda comprenderlas.

Deben distinguirse tres aspectos diferentes de modelos mentales:

- El modelo del diseño
- El modelo del usuario
- La imagen del sistema

El modelo del diseño es la conceptualización que tiene en mente el diseñador. El modelo del usuario es el que elabora el usuario para explicar el funcionamiento del sistema. Idealmente, el modelo del usuario y el del diseño deben ser equivalentes. Sin embargo, el usuario y el diseñador sólo se comunican por conducto del propio sistema: su apariencia física, su funcionamiento, la forma en que reacciona y los manuales e instrucciones que lo acompañan.

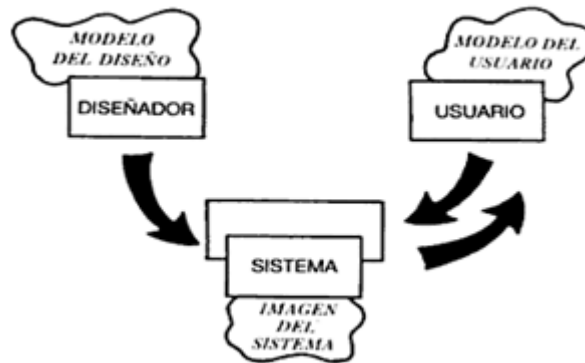
A continuación se observa un esquema del anterior planteamiento:

---

<sup>44</sup> Donald Norman (1986)

Tres aspectos de los modelos mentales de Norman: el modelo del diseño, el modelo del usuario y la imagen del sistema

Figura 12: Tres aspectos de los modelos mentales



Fuente: D. Norman 1986

### 5.3 USABILIDAD

Es una palabra adoptada del término inglés *usability* que se refiere al grado en el que un producto puede ser usado.

Por otro lado, según el estándar ISO/IEC 9126 “*Usabilidad es la Capacidad de un software de ser comprendido, aprendido, usado y atractivo para el usuario en condiciones específicas de uso*”. Esta definición hace énfasis en los atributos internos y externos del producto, los cuales contribuyen a su funcionalidad y eficiencia. La Usabilidad depende no sólo del producto sino también del usuario. Por ello un producto no es en ningún caso intrínsecamente usable, sólo tendrá la capacidad de ser usado en un contacto particular y por usuarios particulares.

Para el estándar ISO/IEC 9241 usabilidad se define como “*La eficiencia y la satisfacción con la que un producto permite alcanzar objetivos específicos a usuarios específicos en un contexto de uso específico*”. Esta es una definición centrada en el concepto de calidad en el uso, es decir, se refiere como el usuario realiza tareas específicas en escenarios específicos con efectividad.

Desde la perspectiva de Jacob Nielsen<sup>45</sup> *“La usabilidad es un atributo de calidad que asegura la facilidad de uso en las interfaces de usuario. También se refiere a los métodos empleados en el proceso de diseño para mejorar la facilidad de uso.”* Esto se refiere a la facilidad con que las personas pueden utilizar una herramienta particular fabricada por los humanos con el fin de alcanzar un objetivo concreto.

En general, la usabilidad es una cualidad demasiado abstracta para ser medida directamente, por tanto, se hizo necesario la creación de atributos para poder realizar mediciones sobre la misma.

### **5.3.1 Atributos de Usabilidad<sup>46</sup>**

Los atributos de usabilidad fueron creados para realizar mediciones directas sobre las características de las interfaces o herramientas diseñadas y se usan para realizar pruebas de usabilidad. Aunque varios autores han planteado otros atributos de usabilidad, a continuación se mencionan los más conocidos y utilizados<sup>47</sup>, los de Jacob Nielsen y los de Donald Norman.

#### **5.3.1.1 Atributos de usabilidad según Nielsen**

Para poder estudiarla se descompone habitualmente en cinco atributos básicos [Nielsen93]:

- **Facilidad de aprendizaje:** Cuán fácil es que el usuario aprenda las funcionalidades básicas del sistema, como para ser capaz de realizar correctamente la tarea que necesite. Se mide normalmente por el tiempo empleado con el sistema hasta ser capaz de realizar ciertas tareas en menos de un tiempo dado (el tiempo empleado habitualmente por los usuarios expertos). Este atributo es muy importante para usuarios novatos.

---

<sup>45</sup> Sitio oficial de J. Nielsen <http://www.useit.com/>

<sup>46</sup> Para la realización del test de usabilidad de la propuesta implementada en este proyecto se escogerá una o varias métricas para realizar la evaluación de la usabilidad del sistema.

<sup>47</sup> Al realizar las pruebas de usabilidad para el presente proyecto se decidirá cuál de los dos enfoques tomar.

- **Eficiencia:** El número de transacciones por unidad de tiempo que el usuario puede realizar usando el sistema. Lo que se busca es la máxima velocidad de realización de tareas del usuario. Cuanto mayor es la usabilidad de un sistema, más rápido es el usuario al utilizarlo, y el trabajo se realiza con mayor rapidez. La eficiencia del software en cuanto su velocidad de proceso no implica necesariamente eficiencia del usuario en el sentido aquí descrito.
- **Recuerdo en el tiempo:** Para usuarios intermitentes (que no utilizan el sistema regularmente) es vital usar el sistema sin tener que aprender cómo funciona partiendo de cero cada vez. Este atributo refleja el recuerdo acerca de cómo funciona el sistema, cuando vuelve a utilizarlo tras un periodo de no utilización.
- **Tasa de errores:** Se refiere al número de errores cometidos por el usuario mientras realiza una determinada tarea. Un buen nivel de usabilidad implica una tasa de errores baja. Los errores reducen la eficiencia y satisfacción del usuario.
- **Satisfacción:** Éste es el atributo más subjetivo. Muestra la impresión subjetiva que el usuario obtiene del sistema.

Estos cinco atributos pueden descomponerse a su vez para conseguir una mayor precisión en los aspectos de usabilidad en los que se quiere poner mayor énfasis. Por ejemplo, rendimiento en uso normal y uso de opciones avanzadas son ambos subatributos de eficiencia, mientras que primera impresión es un subatributo de satisfacción. Algunos de estos atributos no contribuyen a la usabilidad del sistema en la misma dirección, pudiendo ocurrir que el aumento de uno de ellos tenga como efecto la disminución de otro.

### 5.3.1.2 Principios de diseño y de usabilidad según Norman

Donald Norman es considerado uno de los referentes más importantes en cuanto a usabilidad. Norman plantea en el libro *“La Psicología de los Objetos Cotidianos”* que a la hora de diseñar cualquier cosa se debe hacer hincapié en que los productos sean utilizables y comprensibles. Según Norman el diseño debería<sup>48</sup>:

- Facilitar la determinación de qué actos son posibles en cada momento dado (utilizar limitaciones).
- Hacer que las cosas sean visibles, comprendido el modelo conceptual del sistema, los diversos actos posibles y los resultados de esos actos.
- Hacer que resulte fácil evaluar el estado actual del sistema.
- Seguir las topografías naturales entre las intenciones y los actos necesarios, entre los actos y el efecto consiguiente, y entre la información que es visible y la interpretación del estado del sistema.

Dicho de otra forma, asegurar que: 1) el usuario pueda imaginar lo que ha de hacer, y 2) el usuario pueda saber lo que está pasando.

## 5.4 INGENIERÍA DE USABILIDAD

Se puede definir como una aproximación al desarrollo de sistemas en la que se especifican niveles cuantitativos de usabilidad a priori. El sistema se construye para alcanzar dichos niveles definidos por métricas o atributos<sup>49</sup> de usabilidad. La Ingeniería de Usabilidad proporciona un modo práctico de asegurar que el software desarrollado alcance un cierto nivel de usabilidad se basa en la evaluación mediante pruebas de usabilidad con usuarios.

---

<sup>48</sup> <http://www.jnd.org/>

<sup>49</sup> Definidos en la sección 3.2.1

## **5.4.1 TÉCNICAS DE LA INGENIERÍA DE USABILIDAD<sup>50</sup>**

Consisten en un ciclo o modelo de diseño-evaluación-rediseño que finaliza cuando se alcanzan los niveles detallados en las especificaciones de usabilidad.

Las técnicas que se exponen a continuación van a agruparse según su uso en dicho ciclo en etapa de especificaciones (análisis de usuarios, análisis de tareas y especificaciones de usabilidad), etapa de diseño (diseño de la interacción, prototipado y participación de usuarios) y etapa de valuación (test de usabilidad y/o evaluación heurística).

### **5.4.1.1 Etapa de Especificaciones**

Al principio del proyecto deben elaborarse unas especificaciones de usabilidad que reflejen el nivel de usabilidad del sistema. Estas especificaciones dirigirán el proceso iterativo de desarrollo, pero para crearlas será necesario identificar previamente a los usuarios y las tareas que van a desarrollar con el sistema. Esta parte está muy relacionada con la Ingeniería de Requisitos.

#### **5.4.1.1.1 Análisis de Usuarios**

Si se desea construir un sistema software usable, se debe primero conocer a fondo a qué usuarios específicos está destinado, cuáles son sus características principales.

Para conocer a los usuarios, las tareas que desarrollan y cómo las llevan a cabo es importante conocer cómo piensa el usuario para desarrollar un sistema que trabaja según ese esquema (y no según el esquema mental del equipo de desarrollo). Algunos procedimientos que pueden llevarse a cabo para el análisis de usuarios son los siguientes<sup>51</sup>:

---

<sup>50</sup> En esta sección se exponen las principales técnicas que ayudan a conseguir un mejor nivel de usabilidad en el software desarrollado. Los resultados de la aplicación de esta técnica serán descritos más adelante

<sup>51</sup> Para el análisis de los usuarios en el presente proyecto se realizaron entrevistas individuales, análisis de mercado y visitas de campo, las cuales serán descritas en más adelante.

- Focus Group: discusión moderada con un grupo de usuarios que permita conocer actitudes, ideas y deseos de los usuarios.
- Entrevistas individuales: discusión uno a uno con usuarios para conocer una actividad en particular o validar los focus groups.
- Análisis de mercado: Adecuado para software comercial.
- Visitas de campo: Cuando se desarrolla software para una empresa u organización es muy útil observar al usuario en su entorno de trabajo habitual, más si cabe en el caso de que el usuario esté utilizando un sistema que será reemplazado por el que se va a construir.
- Cuestionarios o encuestas: Sin ser tan útil como hablar a los usuarios en su entorno habitual, la información acerca de los usuarios puede ser recogida mediante cuestionarios.

El análisis de usuarios puede proporcionar una categorización de usuarios, útil a la hora de obtener una muestra de usuarios con los que realizar test de usabilidad.

#### 5.4.1.1.2 Análisis de Tareas o de Actividades

El término Análisis de Tareas se usa para describir un conjunto de técnicas que se preocupan de cómo hace la gente para realizar una determinada tarea [Preece94]. Una tarea es una actividad con sentido para el usuario, algo que el usuario considera necesario o deseable que se realice. Es la descomposición de la interacción con el sistema en unidades con sentido para el usuario. Estas unidades serán el punto de partida a la hora de desarrollar el sistema.

Si en la actualidad la población de usuarios ya desarrolla una serie de tareas, se realiza un análisis de tareas actuales durante el análisis de usuarios, para identificar dichas tareas y el modo en que el usuario las percibe. Tras este primer análisis opcional, se identifican las tareas que el sistema a desarrollar va a ofrecer, en base a los objetivos que el usuario quiere satisfacer. Las tareas son

descompuestas entonces en subtareas y éstas en acciones que el usuario realizará en su interacción con el sistema.

El análisis de usuarios se toma como entrada al análisis de tareas, y ambos se realizan conjuntamente en determinadas ocasiones. El conjunto de tareas que se obtienen sirve como base para la elaboración de las especificaciones de usabilidad, y se instancian a ejemplos reales para que las lleven a cabo los participantes en los test de usabilidad.

#### 5.4.1.1.3 Especificaciones de Usabilidad

Se establecen especificaciones de usabilidad como objetivos cuantitativos de usabilidad [Whiteside88], los cuales se definen antes de comenzar con el diseño del sistema. Se basan en los atributos de usabilidad básicos descritos anteriormente<sup>52</sup>, o en subatributos de los mismos.

Tabla 5: Ejemplo de especificación de usabilidad

| Atributo de Usabilidad    | Medio de Medición        | Valor a Medir  | Nivel Actual | Peor Nivel Aceptable | Nivel Planificado como Objetivo | Mejor Nivel Posible | Resultados Observados |
|---------------------------|--------------------------|--|--------------|----------------------|---------------------------------|---------------------|-----------------------|
| Rendimiento en uso normal | Tarea "Atender petición" | Tiempo empleado en llevar a cabo correctamente la tarea (minutos y segundos) | 2' 53''      | 2' 53''              | 1' 30''                         | 50''                |                       |
| Primera impresión         | Cuestionario             | Puntuación media (rango -2 a 2)  | -            | 0                    | 1                               | 2                   |                       |

Fuente: Hix93

<sup>52</sup> Descritos en la sección 3.2.1

### **5.4.1.2 Etapa de Diseño**

Una vez identificadas las tareas a las que el sistema va a dar soporte, se puede empezar a diseñar la interacción del sistema, como una primera aproximación que será evaluada y, eventualmente, mejorada en posteriores iteraciones.

En primer lugar se va a describir el diseño de la interacción del sistema y las técnicas de prototipado relacionadas con la usabilidad. Luego, se describen dos principios de diseño que implican en distinto grado al usuario en el diseño del sistema: el diseño centrado en el usuario y el diseño participativo.

#### **5.4.1.2.1 Diseño de la Interacción**

El diseño de la interacción se puede dividir en dos etapas: Diseño del concepto del sistema (IHM abstracto) y diseño de la parte visual de la interacción (IHM concreto), prototipos a ser evaluados con usuarios.

El diseño del concepto del sistema es la actividad más importante del desarrollo de software, pues definirá de qué modo va a funcionar el sistema. Es importante crear un concepto del sistema que pueda ser comprendido y asimilado fácilmente por el usuario.

Hay principios generales que pueden guiar en el diseño, como intentar lograr una consistencia en la interacción, intentar minimizar la posibilidad de error por parte del usuario, no sobrecargar la memoria del usuario, ofrecer realimentación al usuario sobre sus acciones, etc.

#### **5.4.1.2.2 Prototipado**

El prototipado no es una técnica exclusiva de la Ingeniería de Usabilidad, pero es muy valiosa en las primeras fases del desarrollo para representar el diseño de la interacción y evaluar su usabilidad.

No es posible conocer la opinión de los usuarios mostrándoles especificaciones técnicas a un nivel abstracto. Los usuarios entenderán mejor prototipos concretos del sistema.

Algunas técnicas de prototipado ayudan a representar la interacción con un esfuerzo mínimo de implementación, como las siguientes<sup>53</sup>.

- Borradores en papel: Al principio del proceso de diseño se pueden crear prototipos sobre papel para mostrarlos al usuario. Normalmente son representaciones de las ventanas de la aplicación. El diseñador actúa como sistema, presentando al usuario el siguiente elemento cuando ocurre una transición entre ventanas [Nielsen93].
- Técnica del Mago de Oz [Preece94]: Un experto humano actúa como sistema, dando las respuestas a las peticiones del usuario. El usuario interactúa normalmente con el terminal, pero en vez de haber un software detrás, un desarrollador está frente a otro terminal conectado al primero a través de la red, y va tecleando la supuesta respuesta del sistema. El usuario normalmente no sabe acerca del “truco”, para conseguir la sensación de estar tratando con un sistema real.
- Escenarios, storyboards y viñetas: Un escenario describe una historia de ficción de un usuario interactuando con el sistema en una situación concreta. Las viñetas son representaciones que capturan la interacción que ocurre en un escenario. Storyboards son secuencias de viñetas que se centran en las principales acciones en una situación dada [Preece94].

Estas técnicas posibilitan que el equipo de diseño piense acerca de lo apropiado del diseño actual a las necesidades del usuario, favoreciendo un proceso de diseño más centrado en el usuario.

---

<sup>53</sup> Para la etapa del diseño del presente proyecto se podrá utilizar cualquiera de ellas .

#### 5.4.1.2.3 Participación de los Usuarios: Diseño Centrado en Usuario

El Diseño Centrado en el Usuario trata de implicar a los usuarios en el diseño para confirmar que se está desarrollando un sistema que en realidad satisface sus necesidades. La interacción debe ser diseñada desde el punto de vista del usuario [Hix93]. Se desean obtener sistemas que sean fáciles de aprender y de utilizar, y efectivos para las tareas a las que dan soporte. Para ello el punto clave es el usuario, y no se puede conocer su punto de vista sin involucrarle en el proceso de desarrollo. Tal participación se lleva a cabo principalmente mediante la creación de prototipos a lo largo de todo el proceso de desarrollo, para que un grupo representativo de usuarios los evalúe.

De lo anterior se observa que:

- Las funcionalidades y herramientas que satisfacen las necesidades del usuario llevan a las especificaciones funcionales y a los requerimientos de contenido.
- La definición de cómo el usuario interactúa con la herramienta y la definición de la estructura de la información para que sea lógica e intuitiva lleva al diseño de la interacción y a la arquitectura de información.
- El diseño de los elementos de la interfaz que faciliten el uso, el diseño de los movimientos del usuario a través de la arquitectura de información y el diseño de la presentación e integración de la información para que sea fácil de entender lleva al diseño de la información con interfaces y navegación.
- La composición y el tratamiento de los elementos visuales (texto y gráficos), componentes de la navegación y elementos de la interfaz llevan al diseño visual.

### 5.4.1.3 Etapa de evaluación

La evaluación de usabilidad permite conocer el nivel de usabilidad que alcanza el prototipo actual del sistema, e identificar los fallos de usabilidad existentes. La evaluación se realiza usualmente mediante test de usabilidad, complementados con evaluaciones heurísticas.

#### 5.4.1.3.1 Test de Usabilidad<sup>54</sup>

Consisten en presentar al usuario una serie de tareas a realizar, y pedirle que las realice con el prototipo del sistema. Las acciones y comentarios de usuario se recopilan para un análisis posterior.

Es una sesión en donde los usuarios finales realizan actividades o tareas en el sistema para identificar frustraciones y problemas en la aplicación en relación a los atributos de usabilidad básicos:

- **Facilidad de aprendizaje:** que tan rápido un usuario que nunca haya visto la interfaz de la aplicación anteriormente aprende a utilizarla suficientemente bien para lograr las tareas básicas.
- **Eficiencia de uso:** una vez que un usuario experimentado haya aprendido a usar el sistema qué tan rápido puede lograr su meta.
- **memorización:** si un usuario que nunca ha utilizado el sistema anteriormente puede recordar cómo usarlo si ha pasado un tiempo desde la última vez que lo uso o tiene que empezar todo el proceso de nuevo.
- **frecuencia de error y severidad:** que tan seguido los usuarios cometen errores mientras utilizan el sistema, qué tan serios son estos errores y que acciones realizan los usuarios para enmendar los errores.
- **satisfacción subjetiva:** que tanto le gusta al usuario utilizar el sistema.

---

<sup>54</sup> Para el presente proyecto se evaluará la usabilidad del sistema implementado mediante test de usabilidad

Para lograr test de usabilidad con resultados fiables, las condiciones del test y del lugar donde éste se realiza deben ser lo más parecidas posibles al entorno de uso previsto para el sistema.

En primer lugar, es preciso decidir con qué distintos grupos de usuarios se va a probar el sistema, y cuántos participantes de cada grupo se van a obtener para realizar los test. Luego, se deben diseñar las tareas de test cuya realización se va a pedir a los participantes; normalmente se sacan del resultado del análisis de tareas, intentado enmarcarlas en un contexto de uso real.

Es habitual pedir al participante que “piense en voz alta” mientras intenta llevar a cabo las tareas; este procedimiento permite identificar partes del sistema con un nivel pobre de usabilidad.

Cuando el test está preparado y los participantes han sido reunidos, los test se llevan a cabo, opcionalmente grabados en audio o vídeo. Otra posibilidad es registrar las acciones de los usuarios en un fichero del sistema para un análisis posterior. Una vez se han realizado todos los test, los datos recogidos son analizados y los resultados se aplican en el siguiente ciclo de diseño.

#### 5.4.1.3.2 Evaluación Heurística<sup>55</sup>

Un experto en usabilidad (o en IHM) puede realizar una evaluación heurística del sistema para hacer algunas iteraciones de desarrollo más cortas, y así ser capaces de realizar más iteraciones en el proceso de desarrollo. El experto realizará una crítica basado en su experiencia de diseño de la interacción, o en guías de diseño de usabilidad ampliamente aceptadas, como las descritas por Shneiderman [Shneiderman98] o Nielsen [Nielsen93].

---

<sup>55</sup> Para el presente proyecto no es adecuado utilizar la evaluación herística puesto que no se cuenta con un experto en usabilidad o IHM

Los expertos proporcionan una información distinta a la obtenida de usuarios finales mediante test de usabilidad. Las sugerencias de modificaciones por parte de un experto suelen tener más valor que las realizadas por usuarios, por ser más viables y más precisas acerca de los problemas subyacentes de usabilidad (falta de consistencia, navegabilidad pobre, etc.) Por otra parte, para identificar problemas de usabilidad específicos es preciso realizar test de usabilidad con usuarios reales. La evaluación heurística no debe usarse en vez de los test de usabilidad, sino como complemento a los mismos.

Los expertos identifican ciertos problemas de usabilidad que requerirían un gran número de test de usabilidad para ser correctamente identificados y solucionados.

Para ello se explica al experto el modo de funcionamiento del sistema, y se le entrena en las funciones principales. Se le informa acerca del dominio de aplicación y el experto revisa el sistema según la conformidad del mismo a guías de diseño. Una vez finalizada la revisión el experto elabora un informe con los problemas identificados y sugerencias de diseños alternativos (opcionalmente), el cual es entregado al equipo de desarrollo.

## 6 DISEÑO DE LA PROPUESTA

Esta parte tiene como objeto implementar un sistema de telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda con AFM, buscando herramientas que mejoren la utilidad y la usabilidad de herramientas que trataron de implementarse anteriormente en el Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales de la UIS.

Por utilidad, se hace referencia a todo aquello que permita a los usuarios de AFM del GOTS hacer lo que ellos necesiten hacer en telemicroscopía y entender sus capacidades.

En cuanto a la usabilidad, se busca facilitar el aprendizaje para que los usuarios del AFM:

- Comprendan el funcionamiento del sistema de telemicroscopía implementado
- Para que el sistema implementado mejore los requerimientos de telemicroscopía en cuanto a tiempo requerido para las comunicaciones en tiempo real.
- Limitar los errores en el sistema de telemicroscopía.
- Motivar al grupo de óptica y tratamiento de señales para que usen el sistema implementado
- Que el sistema de telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda implementado sea fiable.

La metodología se basa en la concepción centrada en el usuario y en ingeniería de la interacción humano-máquina, como se explicó en el anterior capítulo.

En primer lugar se define la razón de ser del sistema a través de un escenario de uso y de las especificaciones del sistema. Luego se modela el problema a través de:

- Modelo de usuarios
- Modelo de la actividad

## **6.1 RAZÓN DE SER DEL SISTEMA**

El nuevo sistema tiene como objetivo compensar los límites del sistema de telemicroscopía empleado actualmente en el GOTS (realizado a través del software para acceso remoto de Windows) el cual presenta las siguientes limitaciones:

- Latencia demasiado alta y Jitter elevado
- Imposibilidad de comunicación en tiempo real estricto

Los criterios de éxito del nuevo sistema a implementar se consiguen resolviendo las limitaciones encontradas.

### **6.1.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA DE TELEMICROSCOPIA AFM**

Los siguientes aspectos se deben ser tenidos en cuenta al implementar un sistema de telemicroscopía AFM en tiempo real:

#### **6.1.1.1 Software para implementar Telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda.**

Como se planteó en la sección 4 hay dos alternativas para implementar telemicroscopía AFM en el GOTS:

1. Desarrollar completamente un software a la medida.
2. Reutilizar o adaptar softwares de código abierto o comercial de tal manera que se encuentre una solución de bajo costo que satisfaga los requerimientos del sistema de telemicroscopía tanto en tiempo real como bajo demanda.

Teniendo en cuenta la primera alternativa, JAVA™ permite implementar transmisión de datos, voz e imagen sobre Internet, integrar imágenes, consultas a bases de datos, servicios de chats. El problema se presenta cuando se desea que la comunicación sea en tiempo real más o menos estricto. JAVA™ posee

tecnologías como el Java RMI (Java Remote Method Invocation) y socket<sup>56</sup> útiles para implementar acceso remoto, además de ser multiplataforma. Una desventaja para esta opción es que desarrollar un software óptimo que realice todas estas funciones puede ser demasiado complejo y gastar bastante tiempo, además, con JAVA™ la interacción entre cliente y servidor puede ser más lenta o presentar mayor retardo puesto que este lenguaje necesita de una máquina virtual para ejecutarse. En la sección 3.2.1.2 se probaron softwares GPL para escritorio remoto basados en JAVA™ y todos presentaron grandes tasas de retardo. Como se planteó en la sección 4, una solución software basada en hardware es más óptima para que la comunicación se realice en tiempo real se necesita un hardware especial que cree un canal dedicado para la comunicación<sup>57</sup>. Sin embargo, como se concluyó en el capítulo 4 esta alternativa no es viable por la complejidad, alto costo y tiempo requerido para la implementación.

La segunda alternativa es viable. Implementar un servicio a través de la integración de software de código abierto (modificarlos puede llevar su tiempo) o software comercial económico puede ser una alternativa que ayude a disminuir los costos y extensos tiempos de desarrollo.

**6.1.1.2 Compresión de video y datos.** Es importante que el software que se utilice para el control remoto en telemicroscopía posea un buen método para la compresión con el fin de que se reduzca el tamaño de los datos a transmitir, de manera que el cliente y el servidor se puedan conectar a través internet en tiempo real (latencia muy baja) y de manera eficiente. Se debe tratar de que los sistemas de compresión utilizados mantengan la calidad de las imágenes y su color, entre otras cosas.

---

<sup>56</sup> Socket designa un concepto abstracto por el cual dos programas (posiblemente situados en computadoras distintas) pueden intercambiar cualquier flujo de datos. Queda definido por una dirección IP, un protocolo de transporte y un número de puerto.

<sup>57</sup> A system Architecture for Real-Time Imaging of Nano-Scale Viruses. IEEE.

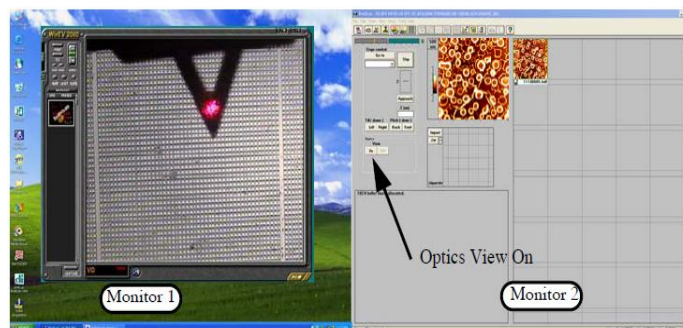
**6.1.1.3 Cámara.** Ésta se conecta al microscopio y a un computador para conformar un equipo de Telemicroscopía.

**6.1.1.4 Interfaz.** Permite el flujo de información entre el usuario local y la aplicación (por ejemplo la interfaz a través la cual interactúa el software ProScan de Veeco y el operador del AFM), o entre la aplicación y otros programas o periféricos hardware, o entre el cliente remoto y el servidor del AFM. Para la presente investigación, una de las interfaces de mayor importancia es la del Software de la tarjeta gráfica WinTV2000, el cual permite la interconexión entre la cámara y el AFM. Esta interfaz se encarga de capturar y transferir las imágenes de posicionamiento del cantilever y el láser en la muestra. La cámara debe transmitir las imágenes en tiempo real para posesionarse correctamente en la muestra y no dañar la instrumentación de AFM.

La interfaz de la tarjeta gráfica WinTV2000 sólo se visualiza en el Monitor 1 del AFM. Otra interfaz a tener en cuenta es la del software privativo del AFM, el ProScan1.8, que permiten la interacción y el control del operario del AFM. La interfaces se visualizan en la siguiente figura:

Figura 13: Visualización de los 2 monitores del AFM

Izquierda: La interfaz de la tarjeta WinTV2000 (Sólo se visualiza en el monitor 1).  
Derecha: el software ProScan v1.8 (este sólo se visualiza en el monitor 2)

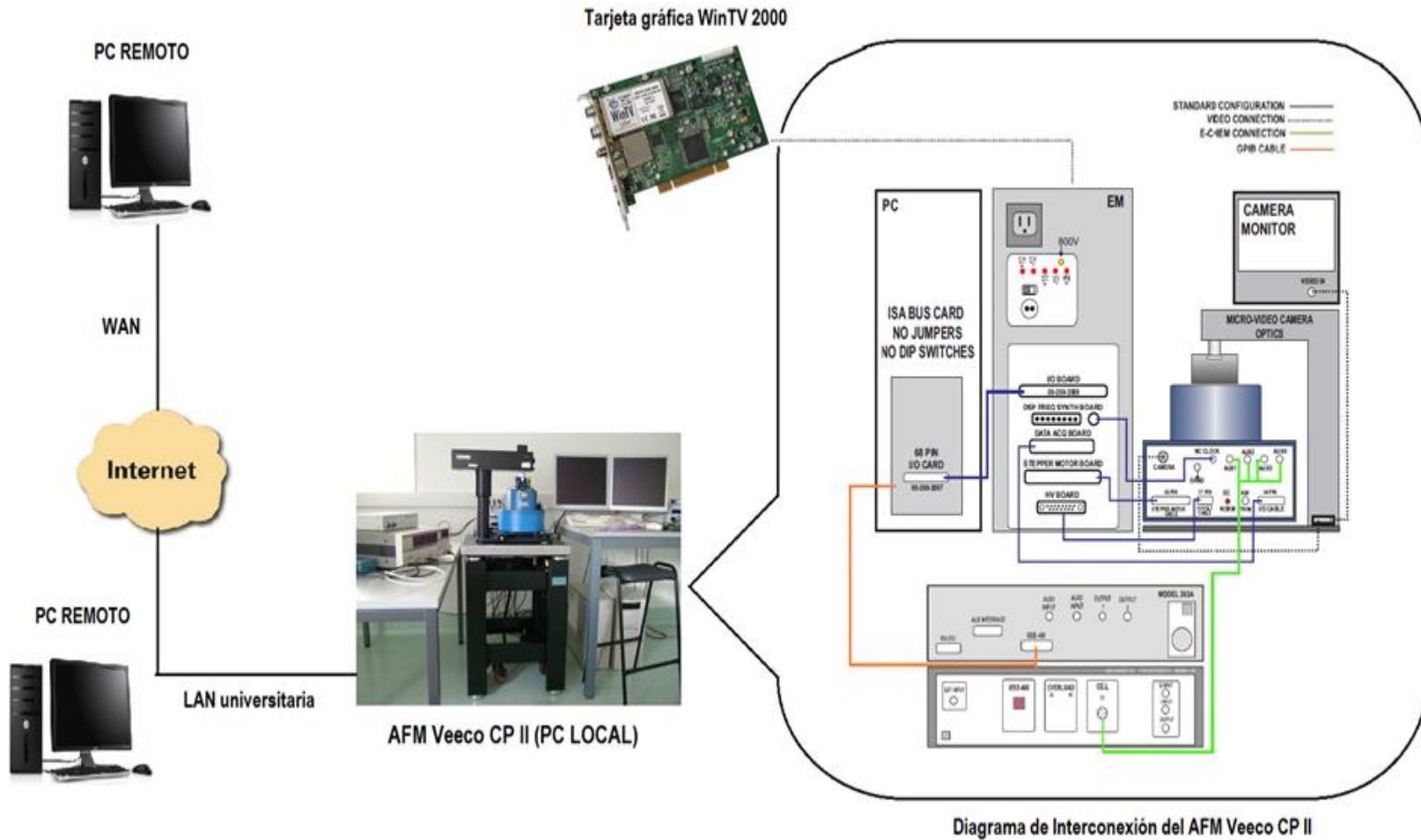


Fuente: Veeco

**6.1.1.5 Teleoperador.** Es quien realiza el control del AFM a distancia. Sus tareas pueden ir desde realizar un monitoreo hasta un análisis continuo de una muestra en el AFM.

**6.1.1.6 Red.** Es el medio por el cual se transmiten los datos a través de puertos específicos, puede ser una VPN (red privada virtual), LAN (red de área local) o WAN (red de área extendida).

Figura 14: Esquema de red y dispositivos para el control remoto de un AFM



Fuente: Autores

## 6.2 MODELO DE USUARIO

Se distinguen dos roles fundamentales para el uso del sistema de telemicroscopía: “Operario local” y “Operario remoto”. Cada tipo de usuarios está asociado a un conjunto específico de funcionalidades del sistema general del AFM.

### 6.2.1 Operario local

Este debe encontrarse en la misma ubicación del AFM. Debe tener excelentes conocimientos en microscopía de fuerza atómica, saber cómo funciona el AFM, conocer sus diferentes técnicas de uso, saber configurarlo y manipularlo, además de conocer sus manuales de uso y saber usar los softwares que vienen con el AFM Veeco CP II (Software “WinTV2000”, software “ProScan” versión 1.8, software de análisis de imágenes “PI”, software de análisis de imágenes “SPMLab”, software “Image Browser”) especialmente el ProScan v1.8. En este sentido, debe ser capaz de orientar al usuario remoto para que este logre los objetivos de su análisis y debe ser capaz de responder a cualquier inquietud que éste platee en relación a la microscopía de fuerza atómica, como por ejemplo cuáles son sus alcances, que tipo de muestras se pueden analizar, entre otras. Igualmente debe tener conocimientos en informática para que se pueda desenvolver en el ambiente Windows y manejar por lo menos el software ProScan v1.8.

Por otro lado, debe ser una persona sana en la parte motriz de sus manos para que posicionar correctamente la muestra de forma manual y también para que pueda manejar correctamente el ratón del computador sobre la interfaz del sistema.

Para el sistema de telemicroscopía, este tipo de usuario debe realizar principalmente las siguientes acciones:

- Manipular de forma manual el AFM y configurarlo de acuerdo a los requerimientos del análisis de la muestra.

- Ubicar la muestra de forma manual en la plataforma de prueba del AFM.
- Interactuar durante las sesiones de telemicroscopía en tiempo real con los softwares genéricos AFM dispuestos por el fabricante (Veeco). Estos son:
  - Software “**WinTV2000**”.
  - Software “**ProScan**” versión 1.8.
  - Software de análisis de imágenes “**PI**”.
  - Software de análisis de imágenes “**SPMLab**”.
  - Software “**Image Browser**”.
- Recibir/enviar datos del operario remoto.
- Comunicarse con el operario remoto a través de chat y videoconferencia (de manera síncrona) y de manera asíncrona.
- Iniciar/terminar análisis de su muestra durante telemicroscopía en tiempo real.
- Guardar, descargar, visualizar y manipular imágenes de microscopía en la herramienta para telemicroscopía bajo demanda.

### **6.2.2 Operario remoto**

Este tipo de usuario se encuentra en una posición geográfica diferente a la del microscopio. Pueden ser profesionales especialistas en materiales, físicos, químicos, biólogos o médicos, entre otros.

Para este tipo de usuario los conocimientos en microscopía y en el funcionamiento del AFM no son obligatorios pero puede ser útil. Debe tener conocimiento en informática para que pueda desenvolverse en el entorno web y contar con buena motricidad en sus manos para que pueda desplazar correctamente el ratón del computador sobre la interfaz del sistema.

Este usuario podrá realizar las siguientes acciones:

- Solicitar sesión de telemicroscopía en tiempo real para el análisis de una muestra.
- Enviar/recibir datos del operario local.
- Comunicarse con el operario local a través de chat y videoconferencia (de manera síncrona) y de manera asíncrona.
- Manipular Software “**ProScan**” versión 1.8 y otros ejecutables en el *Monitor 2* del AFM Veeco CP II.
- Iniciar/terminar análisis de su muestra durante telemicroscopía en tiempo real.
- Iniciar/terminar transmisión de video del análisis en tiempo real.
- Guardar, descargar, visualizar y manipular imágenes de microscopía en la herramienta dispuesta para telemicroscopía bajo demanda.

### **6.2.3 Administrador**

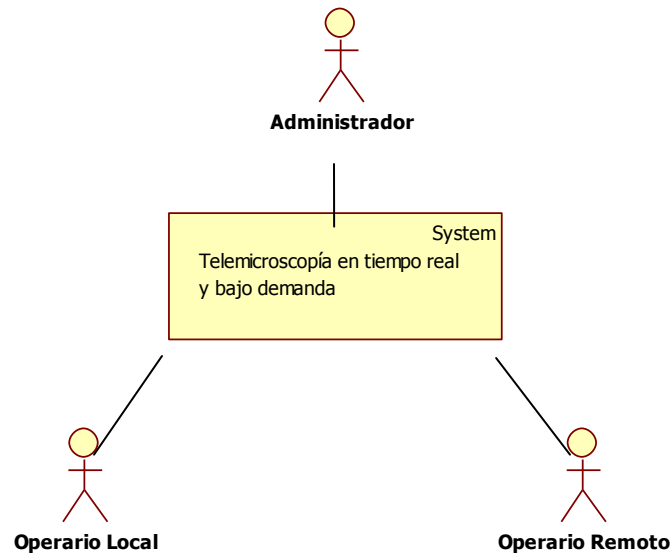
Este tipo de usuario administra el sistema en general. Debe ser experto en microscopía con AFM para guiar y responder a las inquietudes del usuario remoto en ese aspecto cuando éste haga una solicitud para un análisis. Además, debe tener excelentes conocimientos en informática. Un administrador puede cumplir el rol de un operador local.

Podrá desempeñar las siguientes funciones:

- Crear cuentas de usuario con usuario y contraseña para el sistema de administración de los datos (telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda).
- Administrar la información de los usuarios remotos.
- Apartar los componentes del AFM para la sesión de telemicroscopía en tiempo real en informar la fecha al operario local y remoto a través de correo electrónico.

En resumen, los actores identificados en el modelo de usuarios se resumen en el siguiente esquema:

Figura 15: Modelo de Usuario



Fuente: Autores

Además, los usuarios del sistema deben en lo posible hablar inglés y español; el operario local debe conocer bastante bien el vocabulario y los conceptos de microscopía de fuerza atómica, telemicroscopía, etc., y debe tener bastante experiencia en la manipulación de los softwares del AFM.

En cuanto a las competencia en interacción humano máquina los diferentes tipos de usuarios deben ser capaces de anticipar, memorizar situaciones y repetir una lista de acciones simples, siendo necesario que las comprendan.

### 6.3 MODELO DE LA ACTIVIDAD

El modelo de la actividad<sup>58</sup> se determinó mediante las herramientas planteadas en la sección *Análisis de Usuarios* (sección 5.4.1.1.1) como entrevistas, focus group, observaciones in situ, escenarios y exploración de lo existente<sup>59</sup>.

En esta parte ofrece una visión abstracta del sistema de telemicroscopía con el fin de comprender sus funcionalidades y hacer una descripción de alto nivel.

Se identificaron las siguientes tareas o actividades, las cuales modelan los servicios que deben ser ofrecidos por el sistema de telemicroscopía para el análisis de muestras y la gestión de los datos derivados de dicho análisis.

- ❖ Solicitar sesión para análisis de muestra
- ❖ Programar sesión para análisis de muestra
- ❖ Participar en sesión de análisis síncrono de muestra
- ❖ Manipular el AFM de manera local
- ❖ Configurar el AFM de manera local de acuerdo al modo apropiado para el análisis de la muestra.
- ❖ Monitorear el análisis de muestras tanto local como remota.
- ❖ Comunicar usuarios a través de chat o videoconferencia.
- ❖ Gestionar los datos de microscopía a través de la plataforma OMERO: Guardar, descargar, visualizar y manipular imágenes y metadatos de microscopía.
- ❖ Administrar usuarios.
- ❖ Manejar Software “**ProScan**” versión 1.8 y otros disponibles en el Monitor 2 del AFM Veeco CP II de manera síncrona, tanto local como remotamente.
- ❖ Analizar muestra: Transmitir video de análisis.

---

<sup>58</sup> Por actividad se entienden las acciones que hacen los usuarios en ausencia del sistema que se quiere concebir en el presente proyecto.

<sup>59</sup> La exploración de lo existente se realizó en la sección del Estado del Arte.

- ❖ Gestionar resultados del análisis de su muestra.

A la hora de especificar servicios relacionados con la monitorización se ha distinguido la monitorización en modo síncrono y la monitorización en modo asíncrono. Se dispuso así por las distintas implicaciones tanto desde el punto de vista técnico como de la organización de los servicios.

En tiempo real los resultados de la monitorización se envían al mismo tiempo que se van recogiendo, durante el tiempo que demora el escaneo y análisis de una muestra en un AFM, un tiempo relativamente prolongado (varios minutos u horas) y existe un profesional que supervisa de manera remota (continua o intermitentemente) y un operario in situ que también supervisa de manera local (continua o intermitentemente) la recogida de los datos.

En la telemicroscopía bajo demanda se pueden presentar varios escenarios. Por ejemplo, un usuario remoto puede enviar la muestra al sistema de telemicroscopía donde el operario, si conoce acerca de la muestra y de lo que se quiere analizar, puede analizarla en cualquier momento para luego enviar los resultados a través de la plataforma de gestión de los datos de microscopía. Otro escenario para el modo asíncrono es que los usuarios tanto remoto como local hayan realizado un análisis síncrono o en tiempo real y que los resultados hayan sido almacenado en la plataforma para la gestión de los datos, luego el operario remoto puede enviar o compartir las imágenes resultantes del análisis con otros especialistas para que estos den su punto de vista sobre ellas en cualquier momento según su disponibilidad de tiempo.

### 6.3.1 Descripción del sistema

A través de entrevistas, observaciones in situ y focus group se construyó el siguiente descripción para el sistema telemicroscopía en tiempo real:

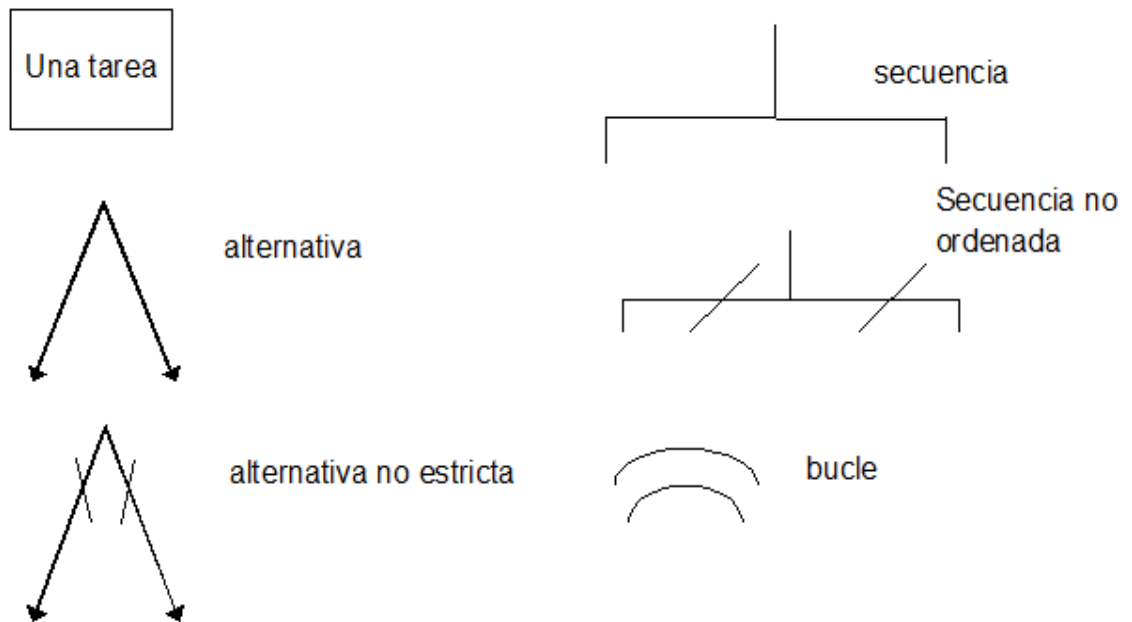
*“Al realizar una sesión de telemicroscopía en tiempo real, un operador in situ prepara a distancia la muestra y reserva los instrumentos AFM, notificando la fecha al usuario remoto a través de correo electrónico. Antes de la hora programada, se inserta la muestra en el microscopio y recoge un estudio preliminar de baja resolución y se pone a disposición del usuario remoto. A la hora prevista, el operador in situ enciende los componentes AFM: la aplicación ProScan se visualiza en el monitor 2 y la aplicación WinTV2000 en el monitor 1. Estas aplicaciones interactúan con el microscopio. Luego, tanto el usuario remoto como el operador in situ inician la aplicación para acceso remoto donde se permite el control remoto interactivo de la ampliación, el enfoque y la posición de platina del AFM, como si el usuario estuviera en el real de la consola del instrumento. Hasta el momento no se ha podido realizar una comunicación en tiempo real porque siempre se presenta latencia<sup>60</sup>. Normalmente, el operador in situ y el usuario remoto deberían explorar la muestra e interactuar a través de videoconferencia. Imágenes de alta resolución deberán ser transmitidas a través de Internet para que el usuario remoto las examine o las use posteriormente. Las sesiones de telemicroscopía en tiempo real durarán entre dos y cinco horas. Al finalizar el análisis la imagen final debe ser subida a un repositorio (telemicroscopía bajo demanda) donde podrá ser accedida por especialistas que pueden interactuar entre ellos enviando comentarios, anotaciones o análisis sobre las imágenes”.*

---

<sup>60</sup> Anteriormente ha había intentado con el acceso remoto de Windows

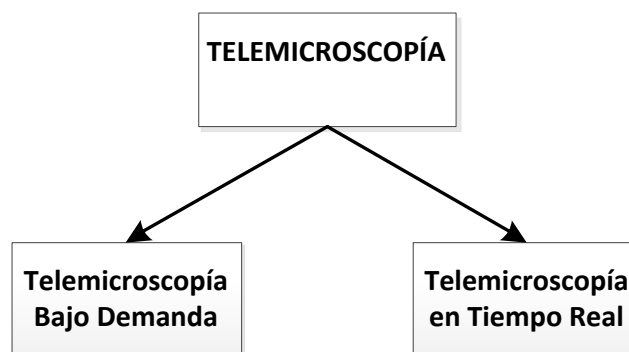
### 6.3.2 Árbol de tareas

El árbol de tareas se basa en el Hierarchical Task Analysis. Con él se hace una descomposición jerárquica de las actividades en tareas y subtareas. Usa los siguientes símbolos:



Entonces, el árbol de tareas para el sistema de telemicroscopía a modelar se descompone en dos sub tareas o funcionalidades generales, la telemicroscopía bajo demanda y la telemicroscopía en tiempo real:

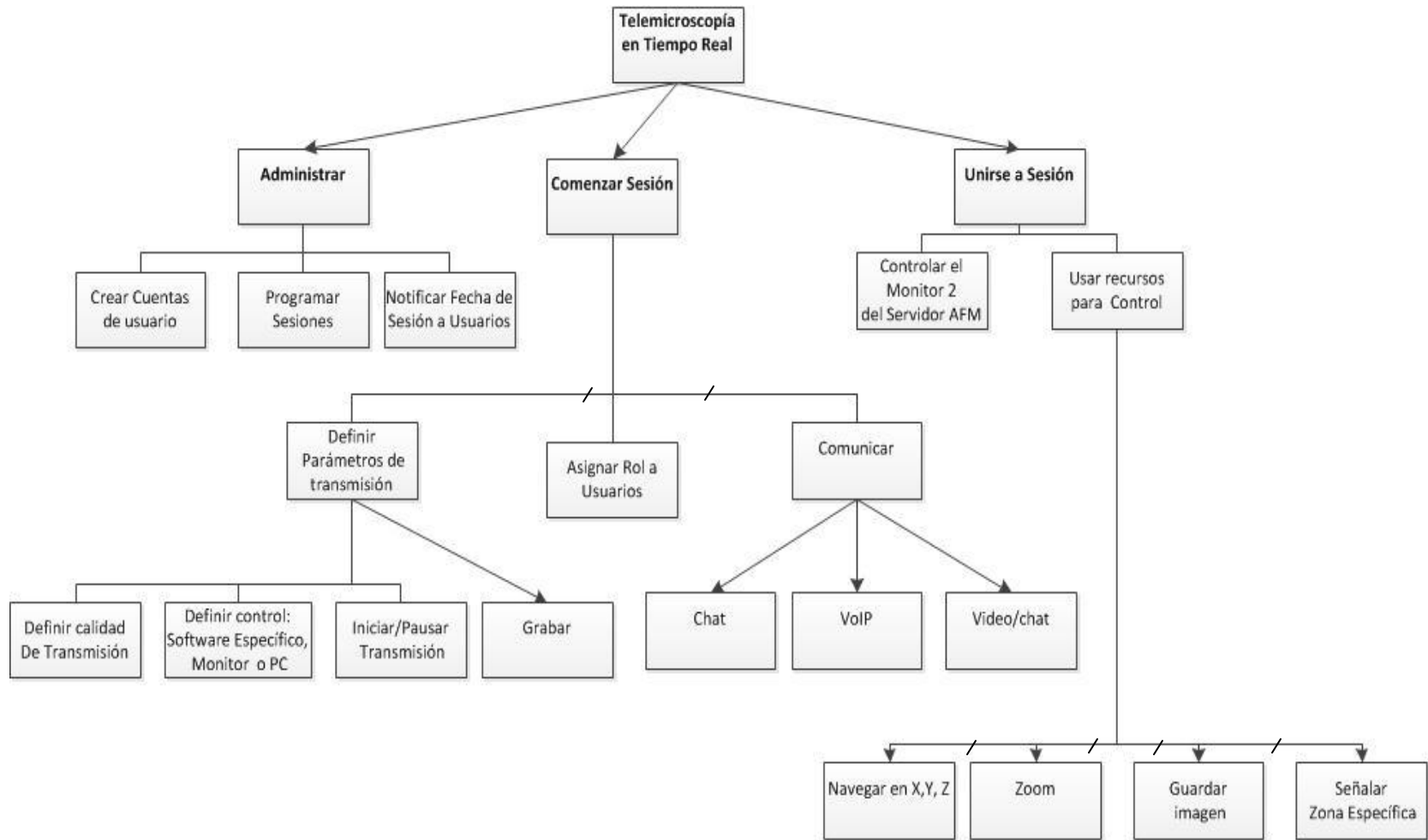
Figura 16: Árbol de tareas 1



Fuente: autores

En el siguiente árbol se observan las funcionalidades específicas en cuanto a Telemicroscopía en Tiempo Real:

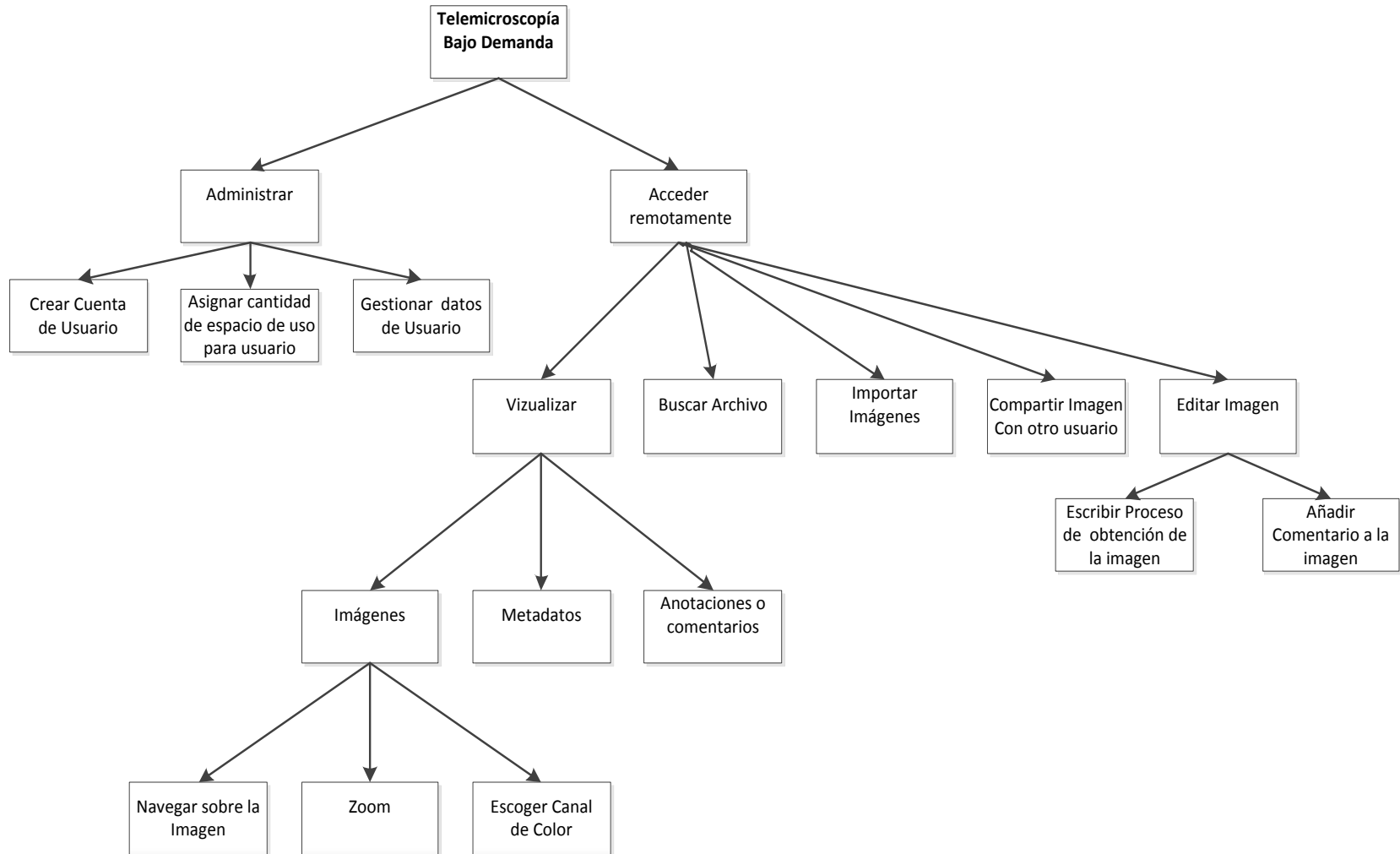
Figura 17: Árbol de tareas para Telemicroscopía en Tiempo Real



Fuente: autores

A continuación se muestra el árbol de tareas para telemicroscopía bajo demanda:

Figura 18: Árbol de tareas para Telemicroscopía en Bajo Demanda



Fuente: autores

## **6.4 MODELO DEL DOMINIO**

El objetivo de este modelo es brindar una alternativa económica, sencilla y eficiente que sirva como base para la implementación de servicios de telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda con microscopía de fuerza atómica. La utilidad de este trabajo, más allá de ofrecer una solución única a la definición de servicios de telemicroscopía busca proponer un modelo que pueda ser empleado por otros como marco de referencia y objeto de crítica, de manera que permita avanzar en la definición e implantación de dichos servicios.

Este modelo se ha generado tanto a partir de las necesidades detectadas en la revisión del estado del arte como de la observación del uso del AFM y del diálogo con los usuarios del mismo.

El propósito del sistema de telemicroscopía propuesto en este proyecto está condicionado por las necesidades planteadas por los usuarios del AFM del Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales de la UIS, quienes desean que usuarios remotos puedan manipular el AFM a través de un sistema con menor latencia que el acceso remoto de Windows, tratando en lo posible que sea en tiempo real; y que los usuarios del AFM puedan almacenar las imágenes y otros datos derivados de los análisis en un sistema que pueda ser accesado a través de un navegador web.

## 7 IMPLEMENTACIÓN

Esta sección describe la manera cómo se realizó la implementación de la telemicroscopía en tiempo real y bajo demanda teniendo en cuenta las limitaciones del proyecto en cuanto a tiempo, recursos humanos y económicos.

En primer lugar, se muestra la opción escogida para la implementación de telemicroscopía bajo de manda, luego se describe la manera cómo se implementó el acceso remoto en tiempo real flexible con el Microscopio de Fuerza Atómica. Para terminar se describe la implementación de un sitio web para el Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales de la UIS, creado para mostrar en internet los servicios de telemicroscopía ofrecidos por el GOTS. Éste sitio posee un menú de *Servicios* con enlaces que re direccionan a las direcciones IP donde se encuentran alojados los servidores de las aplicaciones implementadas, sus respectivos clientes web o de escritorio necesarios para la interacción con los usuarios del sistema.

### PARTE I

#### 7.1 TELEMICROSCOPIA BAJO DEMANDA

De las opciones estudiadas anteriormente en el estado del arte o en el análisis de lo existente se concluyó que la solución más completa y viable para implementar la telemicroscopía bajo demanda es a través de la plataforma OMERO<sup>61</sup>. A continuación se expondrán los pasos realizados durante el proceso de instalación e implementación de la plataforma OMERO y se le describirá con más detalle.

---

<sup>61</sup> <http://www.openmicroscopy.org>

## **7.1.1 INSTALACIÓN DE LA PLATAFORMA OMERO EN DEBIAN LENNY SO**

OMERO puede ser instalado en sistemas operativos derivados de UNIX como cualquier distribución de Linux o MAC, o Windows. Para el presente proyecto el OMERO fue instalado en un equipo de prueba con sistema operativo en Debian Lenny y en un servidor Fedora a través de una máquina virtual en formato ISO<sup>62</sup>.

### **7.1.1.1 PRE-REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN**

Los pasos se deben tener en cuenta antes de iniciar el proceso de instalación de OMERO.

#### **7.1.1.1.1 Instalación de PostgreSQL**

PostgreSQL 8.1 o superior instalado y configurado con PL/pgSQL, aceptando las conexiones TCP. Para el presente proyecto se utilizó la versión 8.4 que venía incluida con el sistema operativo.

El el paso más importante para poner en marcha el sistema de servidor OMERO es tener la base de datos correctamente configurada. Para convertirse en el usuario postgres o sudo de la siguiente manera:

Crear un usuario de base de datos no superusuario y registrar el nombre y la contraseña. El nombre y la contraseña predeterminada para el usuario es "Omero". Si opta por otros valores, tendrá que configurar los valores y omero.db.name omero.db.pass.

---

<sup>62</sup> Esta guía fue creada para un caso específico. Si desea consultar una guía más general diríjase a: <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/installation>. O si prefiere la guía completa en español, puede encontrarla anexa al presente documento.

### 7.1.1.1.2 Instalación de JAVA

El sistema operativo viene con a versión 1.5 lo que hace necesario una actualización a la versión 1.6, sin embargo puede confirmar la versión de java que tiene instalada con el comando “*java -versión*”.

Para realizar la actualización en Debian Lenny descargue el paquete Linux de Java<sup>63</sup> y siga la guía<sup>64</sup> . Es importante que desinstale cualquier versión anterior para evitar problemas de compatibilidad o de inicialización de servicios.

Cree un comando sh por ejemplo *java.sh* y ubíquelo en */etc/profile.d/*. Luego otórguele los permisos necesarios con el comando:

```
chmod a+x /etc/profile.d/java.sh
```

Los comandos del *java.sh* son<sup>65</sup>:

```
export JAVA_HOME=/usr/java/jre1.6.0_01
export PATH=$PATH:/usr/java/jre1.6.0_01/bin export
MANPATH=$MANPATH:/usr/java/jre1.6.0_01/man
```

---

<sup>63</sup> Disponible en: <http://www.java.com/es/download/manual.jsp>

<sup>64</sup> Disponible en : [http://www.java.com/es/download/help/linux\\_install.xml#selfextracting](http://www.java.com/es/download/help/linux_install.xml#selfextracting)

<sup>65</sup> Información tomada del post: <http://www.linuxforums.org/forum/mandriva-linux/95576-explanation-needed-add-java-path.html>

#### **7.1.1.1.3 Instalación de Ice 3.3.x<sup>66</sup>**

Para este paso se debe tener instalado el Synaptic Package Manager por defecto viene con el sistema operativo para hacer la búsqueda de este paquete. En caso contrario puede descargarse del sitio oficial de Synaptic<sup>67</sup> y configurarlo al servidor Debian<sup>68</sup>. A través de este software el Ice 3.3.x se instalara de forma fácil y transparente, evitando errores de instalación.

Luego de ejecutar el Synactip se busca con las palabras “ZeroC Ice” y se instala el archivo encontrado.

#### **7.1.1.1.4 Instalación de Phyton versión entre 2.4 y 2.6**

Una versión apropiada para la instalación de OMERO viene incluido con el sistema operativo Debian Lenny.

#### **7.1.1.1.5 Instalación de Phyton Imaging Library**

Viene incluida con el sistema operativo.

#### **7.1.1.1.6 Instalación del Servidor Omero**

Se descarga el archivo instalador del servidor del Omero<sup>69</sup> y se le ubica en un lugar donde se tengan privilegios de administrador.

#### **7.1.1.1.7 Modificación de las variables de entorno**

Si ha utilizado esta guía de instalación todas las variables necesarias ya están configuradas. En el caso contrario utilice otra<sup>70</sup> guía.

---

<sup>66</sup> The Internet Communications Engine (ICE) es un middleware moderno orientado a objetos con soporte para C + +, .NET, Java, Python, Objective-C, Ruby y PHP.

ICE es software libre, disponible con código fuente completo, y fue publicada bajo los términos de la GNU General Public License (GPL).

<sup>67</sup> <http://www.nongnu.org/synaptic/>

<sup>68</sup> <ftp://ftp.debian.org/debian>

<sup>69</sup> Disponible en: <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/downloads>

<sup>70</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/installation>

### 7.1.1.1.8 Creación de la base de datos como root en Postgres

Probablemente una de las cosas más importantes de este sistema es tener configurada la base de datos de forma correcta.

Para crear un usuario con todos los privilegios necesarios para la base de datos se utiliza la siguiente instrucción:

```
# su postgres
# sudo-u postgres createuser-P-D-R-S <db_username>
sudo-u postgres Omero createuser-P-D-R-S
```

Donde por defecto se usa:

```
createuser -P -D -R -S omero
```

Si desea usar otro nombre de usuario o contraseña deberá modificar omero.db.name y omero.db.pass con los valores que escoja.

Para crear la base de datos realice la siguiente instrucción:

```
# createdb -O <db_username> <db_name>
createdb -O omero omero
```

Para agregar el lenguaje PL/pgSQL a la base de datos se digita el siguiente comando:

```
#createlang plpgsql <db_name>
createlang plpgsql omero
```

Para verificar que la base de datos y los usuarios se hayan creado correctamente se digita el siguiente comando:

```
$ psql -h localhost -U omero -l
Password for user omero:
```

El resultado de la ejecución del anterior comando será parecido a lo siguiente:

```
List of databases
Name | Owner | Encoding
-----+-----+-----
omero | omero | SQL_ASCII
postgres | postgres | SQL_ASCII
template0 | postgres | SQL_ASCII
template1 | postgres | SQL_ASCII
```

#### 7.1.1.1.9 Creación del repositorio binario OMERO<sup>71</sup>

Se debe crear un directorio para el repositorio binario que por defecto debe ubicarse en /OMERO.

Para crearlo use el comando:

```
sudo mkdir /OMERO
```

Luego, cambie el lo privilegios sobre este directorio. Para saber a quién debe asignarle permisos use los siguientes comando:

```
$ whoami su_nombre_de_usuario
$ sudo chown -R
su nombre de usuario /OMERO
```

---

<sup>71</sup> Esta no es la ubicación del Omero ni tampoco donde debe instalarse. Aquí el OMERO.server guardará datos binarios.

### 7.1.1.2 CONFIGURACIÓN

Extraiga la carpeta de los instaladores OMERO en un directorio a su elección, para el ejemplo utilizaremos ~/Desktop/omero.

Si no usa las opciones recomendadas en la creación de la base de datos tendrá que configurar esta información como se muestra a continuación:

```
cd ~/Desktop/omero
bin/omero config set omero.db.name 'myDatabase'
bin/omero config set omero.db.user 'me'
bin/omero config set omero.db.pass 'TopSecret'
```

Si eligió un directorio diferente para el repositorio también deberá configurar la propiedad *omero.data.dir*.

Ahora se crea el script de inicialización de la base de datos. Si siguió los pasos de la configuración por defecto será algo así:

```
$ cd ~/Desktop/omero
$ bin/omero db script
Please enter omero.db.version [OMERO4.2]:
Please enter omero.db.patch [0]:
Please enter password for new OMERO root user:
Please re-enter password for new OMERO root
user:
Saving to ~/Desktop/omero/OMERO4.2__0.sql
```

Teniendo en cuenta que en la versión y el parche se dejó en blanco para que tome la opción por defecto, es importante este password del root, pues es el administrador por defecto que crea el Omero.

Para utilizar el script e inicializa la base de datos bastara con esta instrucción:

```
$ psql -h localhost -U omero omero < OMERO4.2__0.sql
```

Con eso termina la fase de configuración.

### 7.1.1.2.1 Inicialización del Servidor OMERO

El servidor OMERO se inicializa con los siguientes comandos:

```
$ bin/omero admin start
  Creating var/master
  Initializing var/log
  Creating var/registry
  No descriptor given. Using etc/grid/default.xml
```

### 7.1.1.2.2 Inicialización del Cliente Web Omero

Para inicializar la plataforma web basta con ejecutar los siguientes comandos:

```
$ cd ~/Desktop/omero/
$ bin/omero web start/stop
Starting django development webserver...
Validating models...
0 errors found
Django version 1.1.1, using settings 'omeroweb.settings'
Development server is running at http://0.0.0.0:4080/
Quit the server with CONTROL-C.
```

## Parte II

### 7.2 TELEMICROSCOPIA EN TIEMPO REAL

De las opciones estudiadas anteriormente para acceso remoto en la sección 3.2<sup>72</sup> y del prototipo cliente-servidor realizado mediante el método RMI de Java, se observó que la mayoría de herramientas software probadas presentan un alto grado de latencia, lo que hace imposible usarlas para acceder remotamente el AFM.

---

<sup>72</sup> La sección 3.2 del presente documento se titula *SOFTWARES PARA ESCRITORIOS REMOTOS*

Se concluyó que la solución más completa y viable para poder interactuar de manera remota y en tiempo real con el AFM de GOTS en Guatiguará es mediante una solución cliente-servidor híbrida Hardware-Software que solucione los problemas de transmisión multimedia con la menor latencia posible, mejorando otras cuestiones en cuanto a calidad de servicio al crear un canal dedicado para la transmisión de los datos a través de un servidor ubicado en un hardware.

### **7.2.1 Hub Turbomeeting**

Para cumplir con los anteriores requerimientos se implementó un concentrador o Hub Turbomeeting facilitado por el Auditorio del Centic de la Universidad Industrial de Santander cuya IP privada es <http://192.168.48.16> (visible dentro de la LAN de la UIS) y cuya IP pública es <http://200.21.228.141> (visible por fuera de la LAN de la UIS). Con esta solución hardware-software se presentaron los mejores resultados de todas las pruebas pues la interacción remota con el microscopio AFM era muy cercana al tiempo real.

## **Parte III**

### **7.3 SITIO WEB DEL GOTS**

Con el fin de integrar las 2 plataformas para telemicroscopía se implementó el sitio web del GOTS con un menú de servicios a través de Joomla!™ versión 1.5.22, teniendo en cuenta las normas de usabilidad. Este sitio consta de un menú relacionado con *Historia, Objetivos, Misión y Visión, Líneas de Investigación, Proyectos e Instrumentos del GOTS*; otro menú que redirecciona a la información sobre el GOTS en *GrupLab* y donde se encuentran los perfiles de los miembros y sus publicaciones; otro menú de *Servicios* donde se encuentran los enlaces a las IPs de las plataformas para *Sesión de AFM en Tiempo Real* y *Sesión Omero en la web*; otro menú consiste en un *Foro* para dudas sobre sesiones de telemicroscopía o cualquier otro tema. También cuenta con una sección para *Contacto*, otra sección para un blog de *Noticias*, otra sección para *Redes Sociales* y *Enlaces de Interés*. La interfaz de inicio se puede ver a continuación:

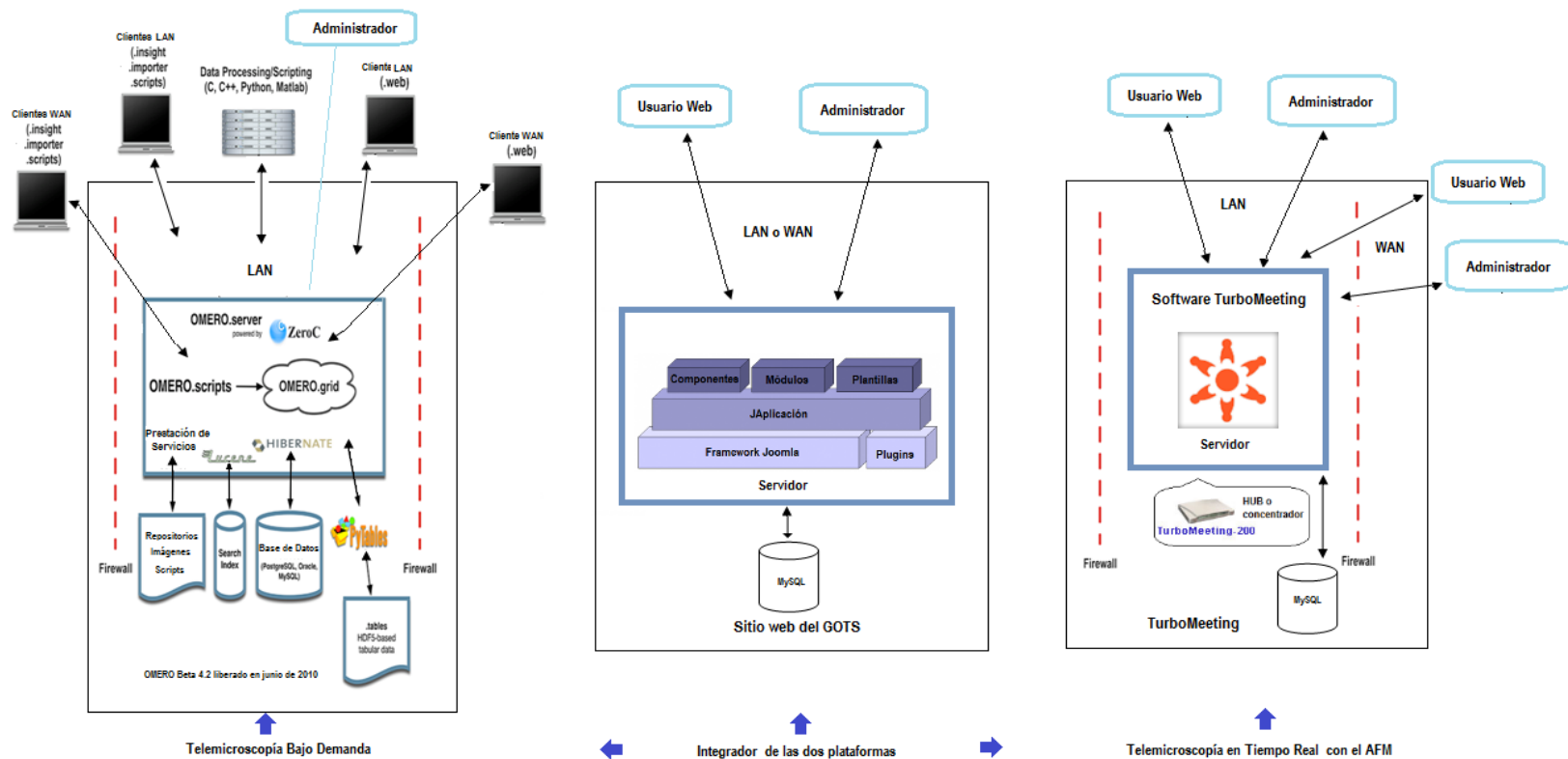
Figura 19: Sitio web del GOTS



Fuente: Autores

A continuación se muestra el esquema de la implementación de los servicios de telemicroscopía en tiempo real con el AFM y Bajo demanda con la plataforma para el almacenamiento, gestión y anotación de imágenes de microscopía mediante un sitio web que integra las soluciones planteadas

Figura 20: Esquema de las plataformas implementadas para el servicio de telemicroscopía del GOTS



Fuente: Autores

## 8. PRUEBAS DE USABILIDAD<sup>73</sup> Y CUESTIONARIO SUS<sup>74</sup>

Las pruebas de usabilidad, aceptabilidad o satisfacción fueron realizadas el sábado 16 de abril de 2011 de 11am a 2 pm con 3 usuarios del sistema, de los cuales:

- Dos de ellos jugaban el rol de usuarios remotos, quienes fueron ubicados en el auditorio del CENTIC de la Universidad Industrial de Santander, para interactuar con el AFM de forma remota. Estos usuarios fueron grabados mientras navegaban o ejecutaban las tareas en el sitio web, en la plataforma para microscopia AFM en tiempo real y en la plataforma OMERO para almacenamiento de imágenes y metadatos de microscopia. Uno de los autores del presente proyecto estaba presente como observador y podía ver todas las acciones que ejecutaban los usuarios a través de un tablero que estaba conectado al computador donde se visualizaba y grababa a gran escala cada una de las acciones que desarrollaban los usuarios en el computador.
- El otro usuario jugo el papel de operario in situ del AFM ubicado en el Laboratorio de Óptica y Tratamiento de Señales de la UIS-Guatiguará, quien realizo la ubicación de la punta, del laser y la configuración preliminar del modo en que iba a funcionar el AFM. Este usuario estaba acompañado por otro de los autores del presente proyecto.

Esto se realizó a través de la ejecución de una prueba de usabilidad con usuarios remotos del AFM del GOTS, que constaba de un guion con escenarios y tareas divididos en 3 partes: la primera parte fue la prueba del sitio web, la segunda parte fue la prueba de la plataforma OMERO para Telemicroscopía Bajo Demanda y la tercera parte fue la prueba de la plataforma para Telemicroscopía en Tiempo Real,

---

<sup>73</sup> Para conocer la prueba en detalle ir a la sección de Anexos

<sup>74</sup> Para conocer el cuestionario SUS en detalle ir a la sección de Anexos

en donde se buscaba interactuar remotamente con el AFM ubicado en Guatiguará.

Al final de la prueba los usuarios llenaron un cuestionario de Escala de Usabilidad del Sistema (SUS<sup>75</sup>) que mide la satisfacción y la aceptación del sistema a través de un cuestionario Linkert<sup>76</sup> con 10 afirmaciones evaluadas en una escala de 1 a 5, donde 1 significaba que estaba en completo desacuerdo y 5 en completo acuerdo.

Un guión se divide en conjuntos de preguntas y series de tareas, cada una de las cuales está vinculada a ciertos objetivos. Constaba de lo siguiente:

- Introducción: en esta parte la persona que realizó el test se presentó y explicó a los usuarios remotos qué iban a hacer, cuáles eran los objetivos del test, etc. También se les dijo iban a ser grabados durante el la prueba y que debían pensar en voz alta para que sus voces quedaran registradas mientras ellas trabajaban.
- Descripción de un escenario.
- Tareas: las tareas fueron aquellas acciones que se le pidió al usuario que realizara durante el test.
- Preguntas: se incluyeron preguntas abiertas.
- Cuestionario posterior al test: una vez que el usuario terminó de realizar todas las tareas y respondió todas las preguntas, se le solicitó que respondiera el cuestionario SUS presente en la sección de los Anexos.

---

<sup>75</sup> El cuestionario SUS fue desarrollado en 1986 como parte de la introducción de la ingeniería de usabilidad a los sistemas de oficina de Digital Equipment Co. Ltd. Su propósito era proporcionar un test fácil de completar (número mínimo de cuestiones).

<sup>76</sup> La escala de tipo Likert es una escala psicométrica comúnmente utilizada en cuestionarios, y es la escala de uso más amplio en encuestas para la investigación. Cuando respondemos a un elemento de un cuestionario elaborado con la técnica de Likert, lo hacemos especificando el nivel de acuerdo o desacuerdo con una declaración (elemento, ítem o reactivo). La escala se llama así por Rensis Likert, que publicó en 1932 un informe describiendo su uso (También denominada Método de Evaluaciones Sumarias).

## 8.1 RESULTADOS DE LA PRUEBA

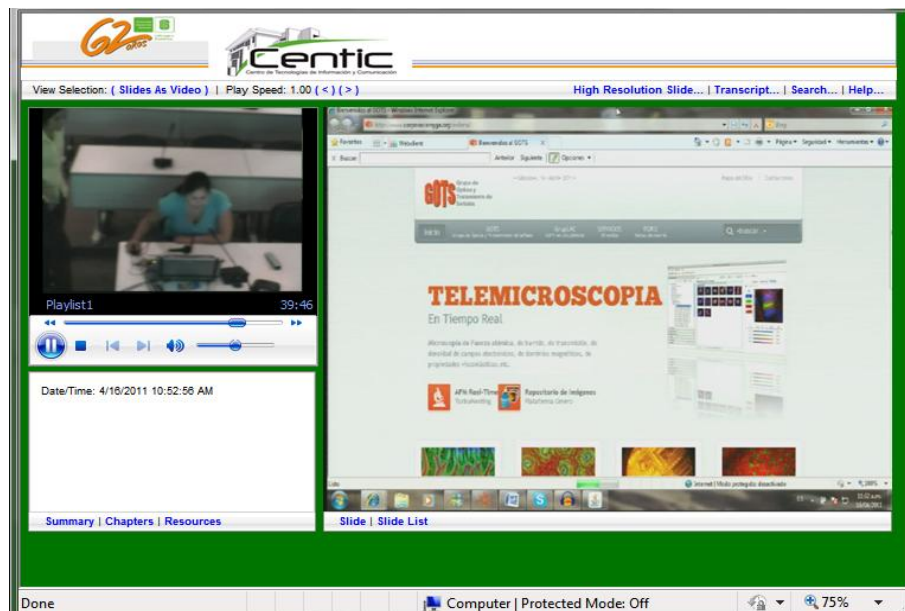
La reacción del usuario remoto ante la prueba fue bastante positiva, pues mostraron bastante entusiasmo al usar las 2 plataformas para telemicroscopía y el sitio web del grupo.

Durante el la ejecución del guion de tareas los usuarios manifestaron o hicieron las siguientes recomendaciones<sup>77</sup>:

- Agregar un menú donde se coloque toda la instrumentación que posee el GOTS, es decir, microscopio AFM, Carl Zeiss, entre otros.
- Dar soporte al formato HDF para poder visualizar las imágenes del AFM en la plataforma web.

A continuación se observa a uno de los usuarios accediendo al sitio web del GOTS:

Figura 21: Usuario navegando en el sitio web del GOTS

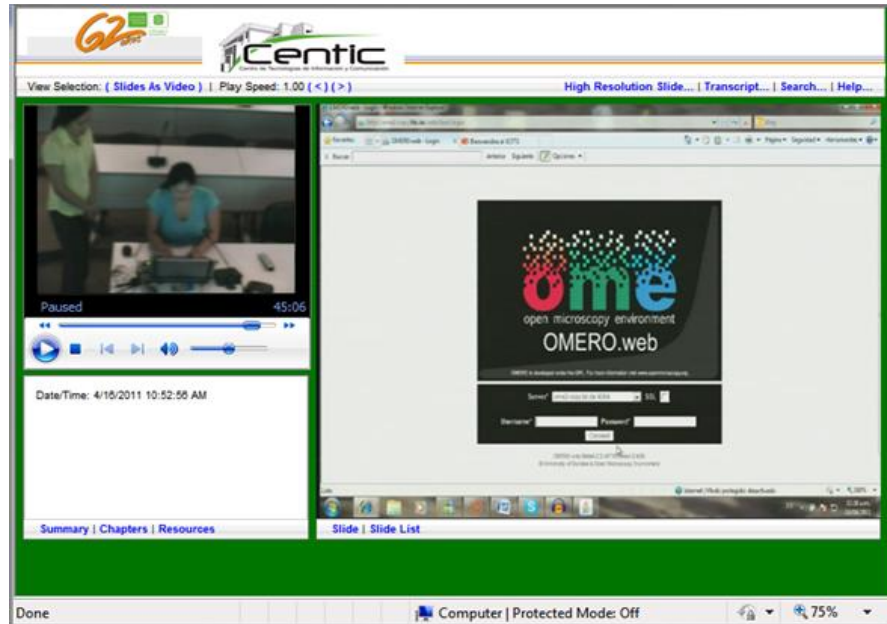


Fuente: Autores

<sup>77</sup> Estas recomendaciones pueden ser consultadas en los soportes de audio y video disponibles en los anexos del proyecto

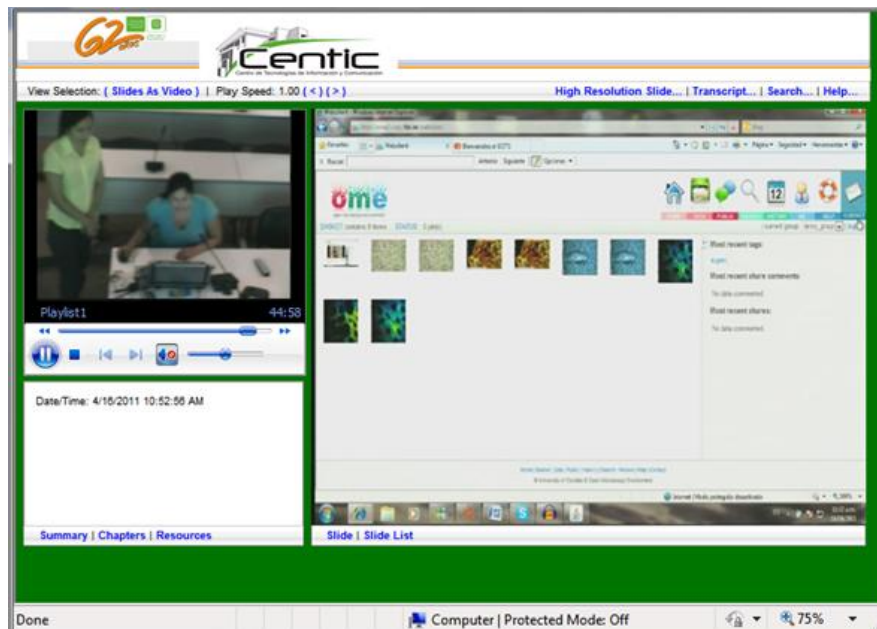
A continuación se observan a un usuario accediendo y usando el OMERO:

Figura 22: Usuario accediendo a la plataforma Omero



Fuente: Autores

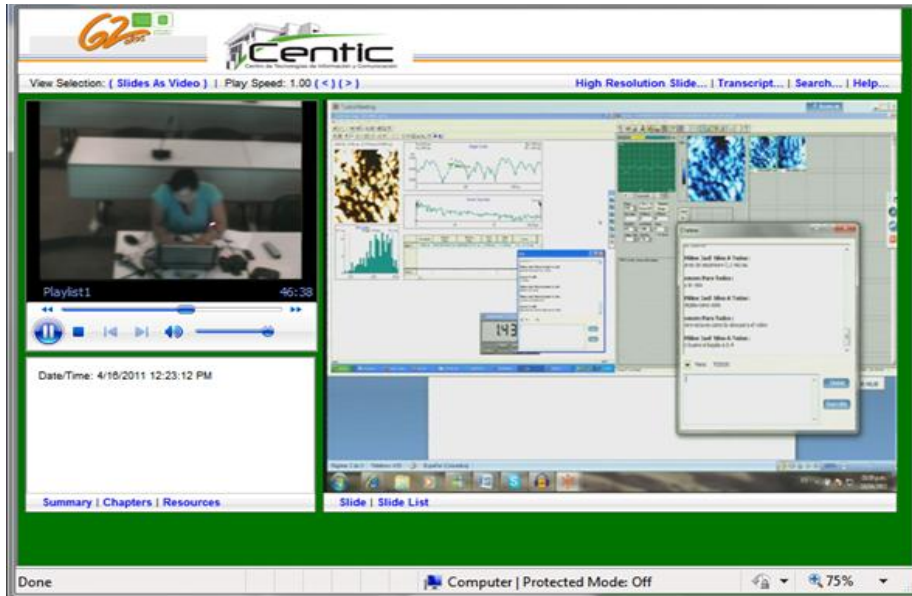
Figura 23: Usuario visualizando fotografías de microscopía durante la prueba



Fuente: Autores

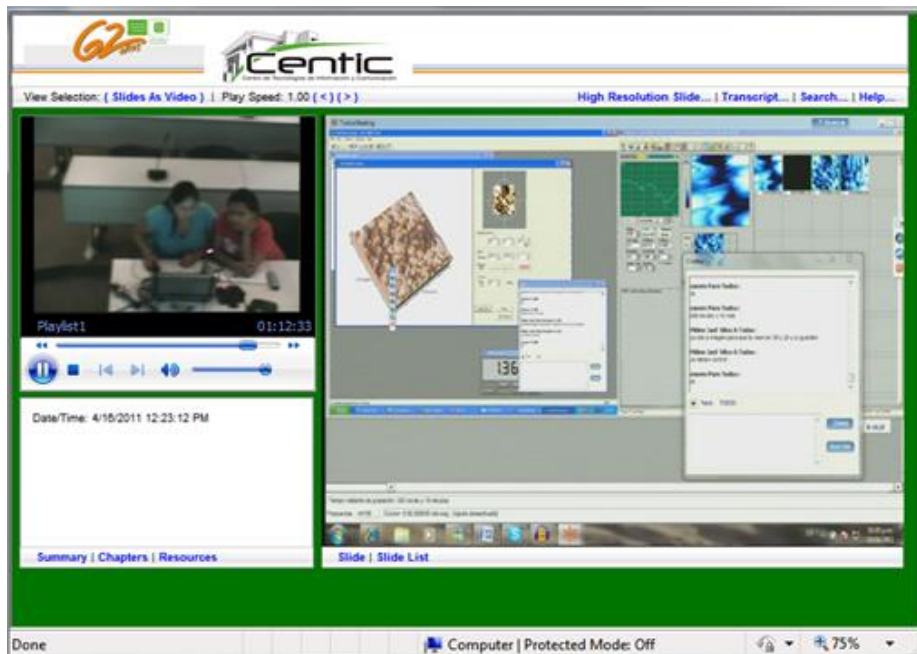
A continuación se observa a un usuario interactuando remotamente con el AFM:

Figura 24: Usuario remoto ejecutando tareas en el el AFM



Fuente: Autores

Figura 25: Usuarios remotos del AFM obteniendo una image 3D



Fuente: Autores

## 8.2 RESULTADOS DEL CUESTIONARIO SUS<sup>78</sup>

El cuestionario SUS fue contestado por los usuarios después de que estos utilizaron las plataformas para telemicroscopía y ejecutaron el guión de tareas. Puntuación de la escala SUS se mide de 0 a 100 puntos calculados de la siguiente manera:

Tabla 6: Manera de puntual la escala Linkert

| 1      | 2      | 3      | 4      | 5      | 6      | 7      | 8      | 9      | 10     | TOTAL |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|
| __ - 1 | 5 - __ | __ - 1 | 5 - __ | __ - 1 | 5 - __ | __ - 1 | 5 - __ | __ - 1 | 5 - __ |       |

Donde, la puntuación resultante del SUS es igual al  $TOTAL * 2.5$ .

La contribución de cada punto valdrá entre 0 y 4. Para los puntos 1, 3, 5, 7 y 9, la contribución será la posición de la escala menos 1. Para los puntos 2, 4, 6, 8 y 10, la contribución será 5 menos la posición en la escala. Se multiplica la suma de los resultados por 2.5

Entonces, calculando la puntuación para cuestionario realizado por el segundo usuario se tiene el siguiente resultado:

Tabla 7: Resultado del cuestionario SUS para el Usuario 1

| 1                              | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | TOTAL |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4 - 1                          | 5 - 1 | 4 - 1 | 4 - 1 | 4 - 1 | 5 - 1 | 5 - 1 | 5 - 1 | 3 - 1 | 5 - 3 | 32    |
| RESULTADO = $TOTAL * 2.5 = 80$ |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Fuente: autores

<sup>78</sup> Los cuestionarios llenados por los usuarios pueden ser consultados en los anexos.

Para los datos obtenidos del cuestionario realizado por el segundo usuario se tiene el siguiente resultado:

Tabla 8: Resultado del cuestionario SUS para el Usuario 2

| 1                         | 2     | 3     | 4     | 5     | 6     | 7     | 8     | 9     | 10    | TOTAL |
|---------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5 - 1                     | 5 - 2 | 5 - 1 | 5 - 4 | 4 - 1 | 5 - 1 | 4 - 1 | 5 - 1 | 5 - 1 | 5 - 3 | 32    |
| RESULTADO = TOTAL*2.5= 80 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |

Fuente: Autores

Por lo tanto, de los resultados de las pruebas se deduce que los usuarios aceptaron integralmente el sistema implementado con un grado alto de satisfacción.

## 9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo se estudió la interacción entre usuarios remotos y operario in situ del AFM, la red de transmisión de datos y el microscopio AFM durante sesiones de telemicroscopía en tiempo real haciendo énfasis en el la transmisión del vídeo durante el barrido de una muestra en sesiones de telemicroscopía.

A partir de las imágenes resultantes de las sesiones de telemicroscopía en tiempo real se estudió la manera de almacenar y administrar imágenes de microscopía AFM en formato .jpg y HDF, de manera que se pudieran realizar anotaciones sobre ellas y sobre los pasos de configuración para obtener dichas imágenes, conocido en el presente proyecto como telemicroscopía bajo demanda.

Luego de estudiar diferentes soluciones que iban desde la creación de una aplicación<sup>79</sup> cliente-servidor en java para el acceso remoto con RMI (Remote Metode Invocation), hasta estudiar diferentes soluciones existentes de código abierto o comerciales para las sesiones de telemicroscopía en tiempo real se decidió implementar una solución híbrida hardware-software con el HUB o concentrador Turbomeeting y sus software cliente-Servidor. De esta manera se creó un canal dedicado para la transmisión de los datos desde el AFM hasta el usuario remoto y viceversa solucionando los problemas de latencia y congestión de la red, presentados durante las pruebas de las soluciones para acceso remoto que sólo implicaban software.

Durante las pruebas en sesiones de telemicroscopía con usuarios reales a través de la LAN UIS sede principal y UIS Guatiguará, se notó que con el uso del Turbomeeting la calidad de experiencia del usuario (QoE) mejora notablemente debido a una reducción considerable de la latencia y el jitter durante la transmisión

---

<sup>79</sup> El primer prototipo de esta aplicación puede consultarse en el anexo 12

de datos, siendo la interacción entre usuario remoto y el AFM más cercana al tiempo real.

Durante las sesiones de telemicroscopía en tiempo real se produce tráfico debido a la transmisión de imagen y vídeo que requieren de un ancho de banda considerable, pudiendo requerir más de 30 Mbps de ancho de banda disponible de extremo a extremo por sesión para lograr QoE para el usuario remoto mientras interactúa con el AFM. Por lo tanto, se recomienda implementar el protocolo de la capa de red IPv6 con UDP/RTP<sup>80</sup> (Versión 6 del protocolo de internet) junto con RENATA (Red Nacional de Tecnología Avanzada RENATA) para mejorar la calidad de servicio y el transporte de tráfico multimedia en tiempo real.

Por otro lado se logró determinar el método apropiado para que el GOTS preste el servicio de telemicroscopía en tiempo real, para llevar a cabo la tarea del control remoto y la comunicación entre el usuario remoto, el AFM y el operario local, así como la transmisión de video.

En cuanto a la telemicroscopía bajo demanda se implementó un sistema de visualización, administración y análisis de imágenes de microscopía con características idóneas para que el GOTS preste dicho servicio.

Alrededor de los sistemas implementados se logró definir un protocolo para la adquisición de los datos en forma remota que se encuentra en el Anexo 10.

Las pruebas de aceptabilidad planteadas en la metodología de la interacción humano máquina mostraron un gran desempeño y funcionalidad del proyecto como puede observarse en la sección 8 titulada pruebas y resultados.

Para terminar se recomienda dar soporte al formato .hdf en la librería Bio-Format para que se puedan visualizar imágenes en este formato en la web.

---

<sup>80</sup> Real-time Transport Protocol (RTP). Is the protocol designed to handle real-time traffic on the Internet. RTP does not have a delivery mechanism; it must be used with UDP. Más información en el documento IPv6, RTP and RTC:  
[http://msc.helpingnotes.com/Electrical/ISPN/Lectures/PDF/Lecture3\\_IPv6,%20IPv6%20UDP,%20RTP%20and%20RTCP.pdf](http://msc.helpingnotes.com/Electrical/ISPN/Lectures/PDF/Lecture3_IPv6,%20IPv6%20UDP,%20RTP%20and%20RTCP.pdf)

## BIBLIOGRAFÍA

- Breton B.C., Chand G. y Caldwell N.H.M. & Holburn, D.M** Remote microscopy in the Real World [Publicación periódica] // Microscopy and analysis. European edition.. - Bookham. Reino Unido. : Ralston Gordon Communications., September 1997. - págs. pp19-21.. - ISSN 0958-1952.
- C. Aras [y otros]** Real-time communication in packet-switched networks [Publicación periódica] // IEEE. - 1994.
- Calyam Prasad [y otros]** User and Network Interplay in Internet Telemicroscopy [Publicación periódica] // IEEE. - Ohio : OARnet/The Ohio State University, 2008. - ICST 978-963-9799-06-6.
- E. Eusebi [y otros]** Transcontinental consults in surgical pathology via the Internet [Libro]. - Philadelphia, PA. : Hum Phatol, 1997. - Vol. Volume 28 : I : págs. 13-16. - ISSN: 0046-8177.
- FERRERES Luis. A. GARCÍA Marcial, PURAS Ana M<sup>a</sup>.** Manual de Telepatología [En línea] / ed. Patológica Club de Informática Aplicada de la Sociedad Española de Anatomía. - 2 de 8 de 2001. - 1 de 12 de 2010. - <http://www.seap.es/telepatologia/manual.htm>. - ISBN: 84-699-5286-2.
- Group Network Working** RFC 1889 - RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications [En línea] // IETF Documents. - 1996. - <http://tools.ietf.org/html/rfc1889>.
- J Zhou [y otros]** Telepathology Using Dual Camera Hybrid System. Fifth Annual Meeting of the American Telemedicine Association [En línea]. - 2000. - <http://www.atmeda.org/>.
- O. FERRER Roca y M. SOSA Ludicissa** Handbook of Telemedicine [Libro]. - Amsterdam : IOS Press, 1998. - ISBN: 0926-9630.
- OLMOS Diaz Dania** Microscopía de Fuerza Atómica. [En línea] // OpenCourseWare de la Universidad Carlos III de Madrid.. - Ciencia e Ingeniería de Materiales de la Universidad Carlos III de Madrid., 12 de 1 de 2010. - 13 de 2 de 2011. - [http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/microscopia-de-fuerza-atmica/otros-recursos-1/Apuntes\\_STM\\_y\\_AFM\\_00.pdf](http://ocw.uc3m.es/ciencia-e-oin/microscopia-de-fuerza-atmica/otros-recursos-1/Apuntes_STM_y_AFM_00.pdf).
- Prasad Calyam, Nathan Howes, Abdul Kalash, Mark Haffner.** User and Network Interplay in Internet Telemicroscopy. [Journal] // IEEE. / ed. University. OARnet/The Ohio State. - Ohio. : [s.n.], 2008.. - Vols. ICST 978-963-9799-06-6..
- R. Aracil** Teleoperación [Conferencia] // III Jornadas de Trabajo Enseñanza vía Internet / Web de la Ingeniería de Sistemas y Automática. - Alicante : [s.n.], 2002.
- S. Tanenbaum A.** Redes de Computadoras [Libro]. - [s.l.] : Pearson. Prentice-Hall, 2003. - Cuarta edición : pág. 5. - ISBN: 0130661023.

**Stallings William** Comunicaciones y Redes de Computadoras [Libro]. - [s.l.] : Prentice Hall, 2000. - Sexta edición.

**T. Richardson Q. Stafford-Fraser, K. Wood, A. Hopper** Virtual Network Computing [Journal] // IEEE Internet Computing. - (January/February 1998). - p. 5.

**Willian Stallings** Redes e internet de alta velocidad: rendimiento y calidad de servicio [Libro]. - Madrid : Pearson, 2004.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Advanced Networking for Telemicroscopy [En línea] // Sitio web de Internet Society . - 23 de 1 de 2011. - [http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/5a/5a\\_4.htm](http://www.isoc.org/inet2000/cdproceedings/5a/5a_4.htm).

**Atmospheric Science Data Cente** [En línea] // Hierarchical Data Format. - <http://eosweb.larc.nasa.gov/HBDOCS/hdf.html>.

Comunicaciones Multimedia [Sección del libro] // Comunicaciones y Redes de Computadoras / aut. libro Stallings Williams. - [s.l.] : Prentice Hall, 2004. - Séptima edición.

NCMIR Software [En línea] // The National Center for Microscopy and Imaging Research. - <https://confluence.crbs.ucsd.edu/display/ncmir/NCMIR+Software>.

OMERO Platform [En línea] // Sitio web de The Open Microscopy Environment. - <http://www.openmicroscopy.org>.

Redes Multimedia [Sección del libro] // Comunicaciones Multimedia / aut. libro William Stallings. - [s.l.] : Prentice Hall.

RFB protocol Wikipedia [En línea]. - 13 de 1 de 2011. - Ver definición en: [http://en.wikipedia.org/wiki/RFB\\_protocol](http://en.wikipedia.org/wiki/RFB_protocol).

Tele-Presence Microscopy & the ANL LabSpace (eLab) Project [En línea] / ed. Laboratory Argonne National. - Universidad de Chicago. Departamento de Energía de los EE.UU.. - <http://146.139.72.10/docs/anl/tpm/tpmexecsumm.html>.

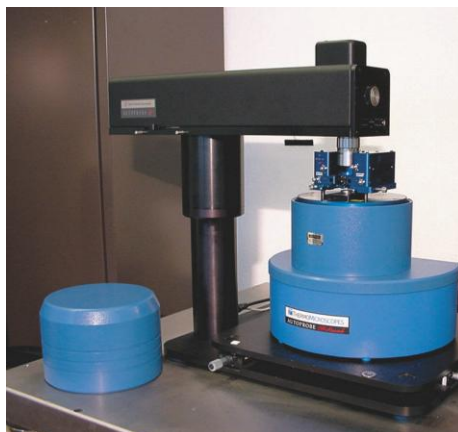
The Atomic Force Microscope Resource Library [En línea] // AFM/SPM Principles / ed. Technologies Agilent. - [http://www.afmuniversity.org/index.cgi?CONTENT\\_ID=33](http://www.afmuniversity.org/index.cgi?CONTENT_ID=33).

# ANEXOS

## ANEXO 1

### DESCRIPCIÓN DE LOS INSTRUMENTOS VEECO CP-II

Figura 26: Microscopio AFM Veeco del GOTS



Fuente: Veeco Inc

Los Microscopios de Barrido por Sonda (Scanning Probe Microscopes, SPM) son una familia de microscopios que estudian, en alta resolución, las propiedades de la superficie de una amplia gama de materiales. Desde principios de 1980, cuando las primeras imágenes de la superficie del silicio fueron tomadas, las aplicaciones SPM se han ampliado para abarcar una amplia variedad de disciplinas, incluyendo el análisis de rugosidad de superficies e imágenes tridimensionales, desde los átomos hasta las protuberancias microscópicas en la superficie de una célula.

Dependiendo de la configuración del sistema, los Instrumentos digitales CP-II permite tomar imágenes con técnicas diferentes a la SPM, incluyendo:

- ❖ Microscopía de Fuerza Atómica (Atomic Force Microscopy, AFM)
- ❖ Microscopía de Fuerza Atómica sin contacto (Non-Contact Atomic Force Microscopy, NC-AFM)
- ❖ Microscopía de Fuerza lateral (Lateral Force Microscopy, LFM)
- ❖ Microscopía de Fuerza de modulación (Force Modulation Microscopy, FMM)
- ❖ Microscopía de túnel de barrido (Scanning Tunneling Microscopy, STM).

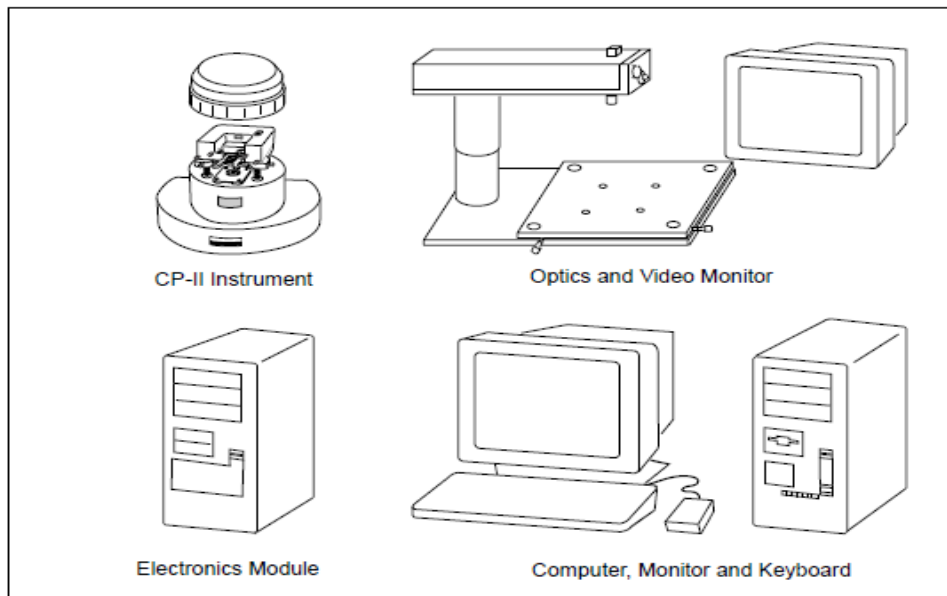
## Componentes del sistema

El sistema de instrumentos digital CP-II se integra principalmente de cuatro componentes:

- Un juego de instrumentos digitales CP-II.
- Una unidad óptica CP con monitor de video.
- Un Módulo Electrónico de instrumentos digitales (EM).
- Una computadora, monitor y el teclado.

Estos se pueden observar en la siguiente figura:

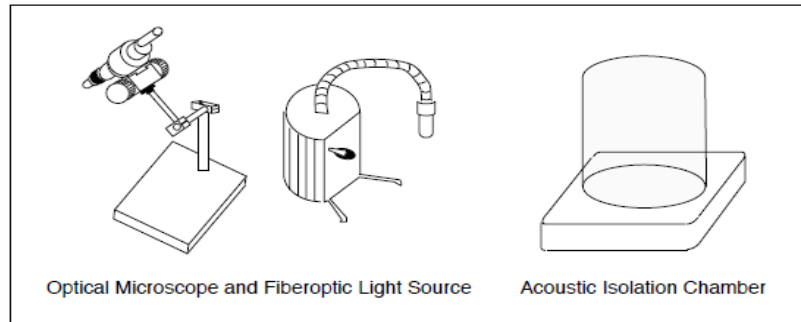
Figura 27: Componentes del instrumento digital CPI. Microscopio AFM



Fuente: Veeco Inc

Además, existen dos componentes opcionales: un microscopio óptico con recurso fuente de luz de fibra óptica y una cámara de aislamiento acústico, las cuales se muestran en la siguiente figura:

Figura 28: Microscopio Óptico y Cámara de aislamiento acústico



Fuente: Autores

A la izquierda de la anterior figura se encuentra el Microscopio óptico y recurso luz de fibra óptica y a la derecha la Cámara de aislamiento acústico.

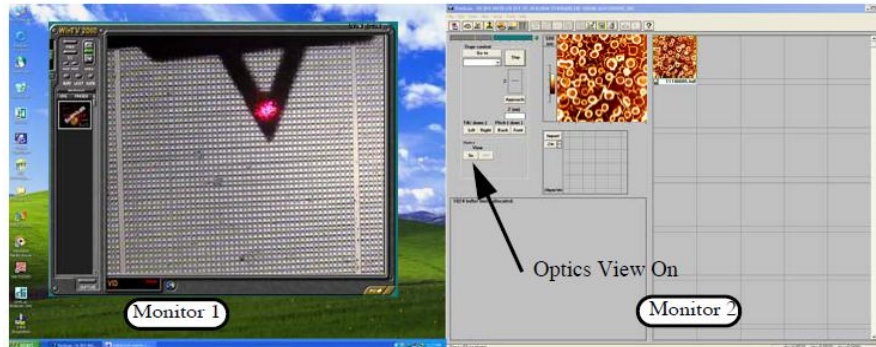
Otros componentes hardware y software de Veeco CP-II son los siguientes:

- Sistema operativo Windows XP
- 2,4 Ghz, Pentium IV-Procesador
- 1024 MB de memoria RAM
- 160 GB de disco duro
- DVD + / - RW con DVD/CD Software
- Interfaz Ethernet 10/100
- Puerto USB
- Unidad de disco flexible
- Tarjeta de video gráfica con soporte de doble monitor
- Tarjeta de video Framegrabber para visualización en la pantalla de salida de la cámara del microscopio.
- Software de WinTV2000
- Software de adquisición de datos “**ProScan**” versiones 1,7 y 1,8
- Software de análisis de imágenes “**PI**”
- Software de análisis de imágenes “**SPMLab**”
- Software “**Image Browser**” (Navegador de imágenes)

## Visualización en monitores del AFM

A continuación se puede observar cómo se visualizan las dos pantallas de los dos monitores de los instrumentos Veeco PC-II y las interfaces software que se puede mostrar en cada pantalla.

Figura 29: visualización de los 2 monitores del AFM



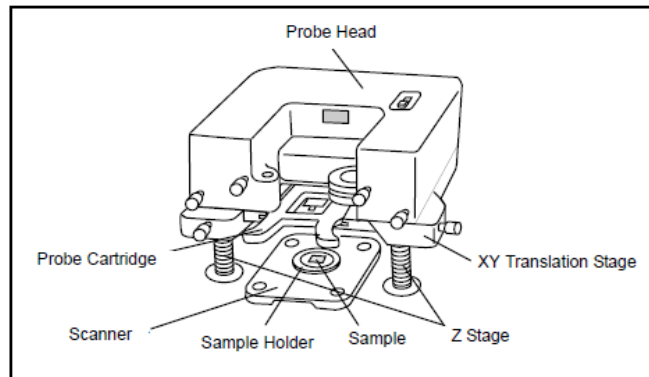
Fuente: Veeco Inc

En el Monitor 1(izq.) se puede ver el SO Windows XP y el software WinTV2000 y en el Monitor 2 el software ProScan1.8 en modo movimiento.

## Instrumento digital CP-II

Los componentes principales del instrumento digital CP-II son: el cabezal de prueba CP-II, una plataforma manual XY, una plataforma motorizada Z, un escáner y una unidad base como muestra la siguiente figura:

Figura 30: Componentes del Instrumento digital CPII

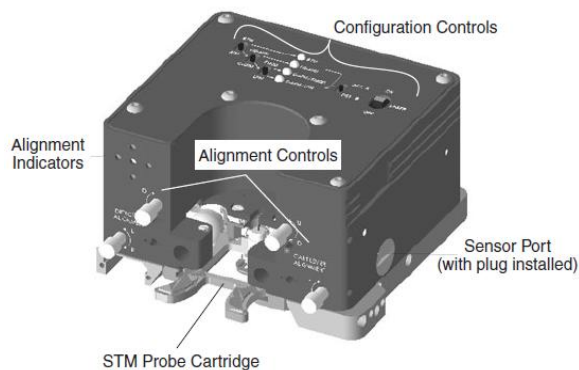


Fuente: Veeco Inc

## Cabezal de prueba CP-II

La siguiente figura muestra el cabezal de prueba montado en una plataforma XY y con un cartridge de prueba STM instalado. El cabezal de prueba CP-II contiene un sensor de deflexión que consta de un diodo láser, un espejo y un fotodetector sensible a la posición (PSPD). El cabezal permite operar en modo STM y una variedad de modos AFM.

Figura 31: Cabezal de Prueba CPII



Fuente: Autores

Tres cartuchos de prueba diferentes están disponibles para su uso con el cabezal de la sonda CP-II, los cuales permiten operar el microscopio de modo STM, o como AFM de contacto, o como los modos AFM sin contacto.

### Otras generalidades

- Después de instalar las aplicaciones necesarias para utilizar el microscopio, los archivos de calibración se encuentran en la dirección de computador: C:\CPII\CAL o en C:\PSI\CAL y son de extensión \*.scn. Sin estos archivos, el sistema no será calibrado.
- La Tarjeta WinTV2000 mostrará la información cámara sólo en Monitor 1.
- La tarjeta WinTV2000 soporta varios formatos de vídeo, los más comunes son el NTSC y PAL.
- La interface del software ProScan 1.8 se mostrará sólo en el Monitor 2.

## **ANEXO 2**

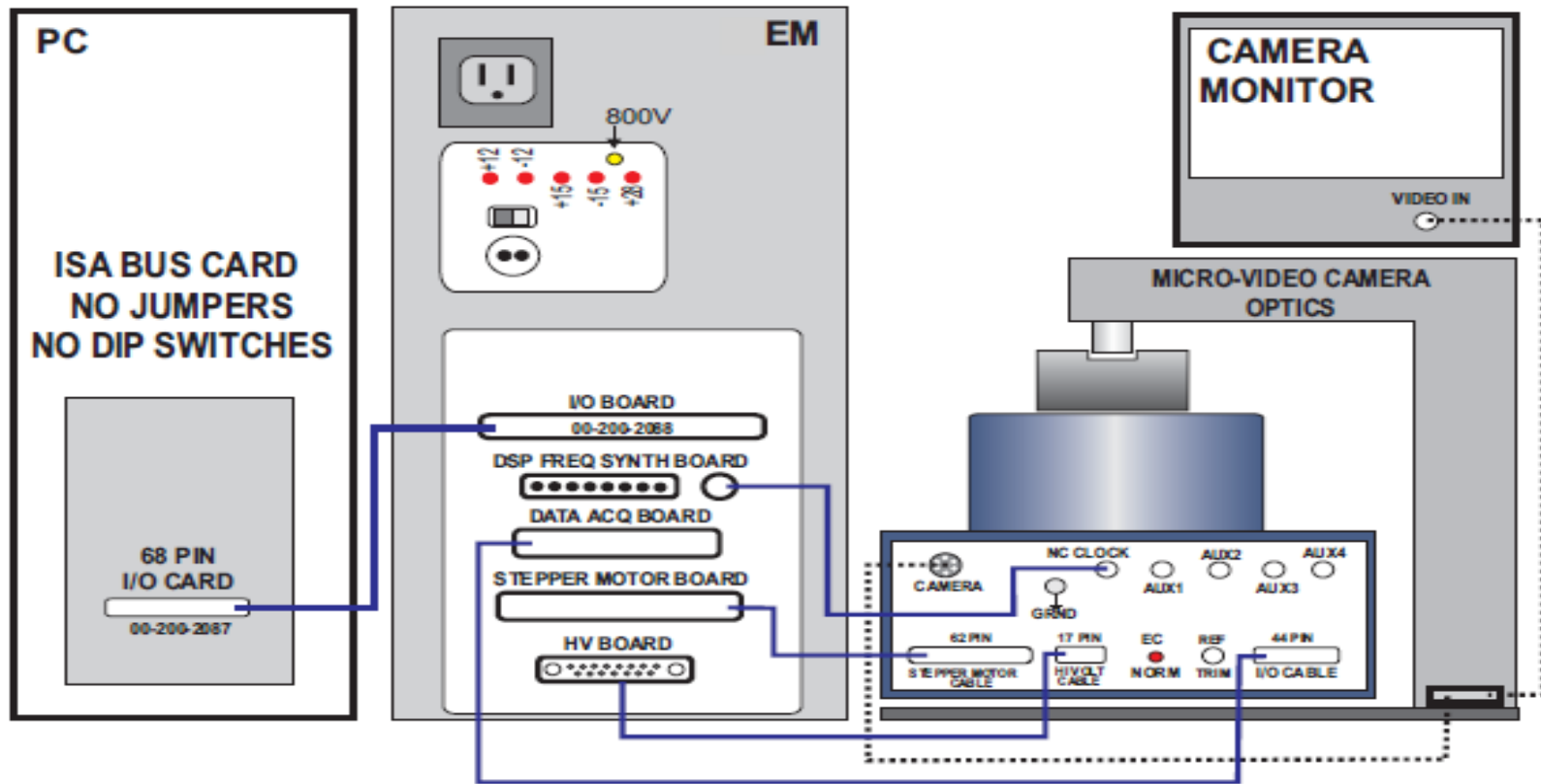
### **PASOS PARA TOMAR UNA IMAGEN CON AFM O SPM**

Tomar una imagen con la técnica SPM mediante instrumentos digitales CP-II implica generalmente los siguientes pasos:

- Carga de una muestra.
- Carga de una sonda de pre-alineado.
- Realización de un enfoque manual y un enfoque automático.
- Navegar por la superficie de una región de interés.
- Ajuste y optimización de los parámetros de exploración y retroalimentación.
- Realización de una imagen consistente de los datos topográficos en 3 dimensiones.
- Analizar la imagen para obtener mediciones de superficies y las estadísticas.
- Impresión de gráficos y tablas de resultados de análisis de datos.
- Procesamiento e impresión de la imagen.
- Almacenamiento de archivos de imagen y resultados de análisis de datos.

### ANEXO 3

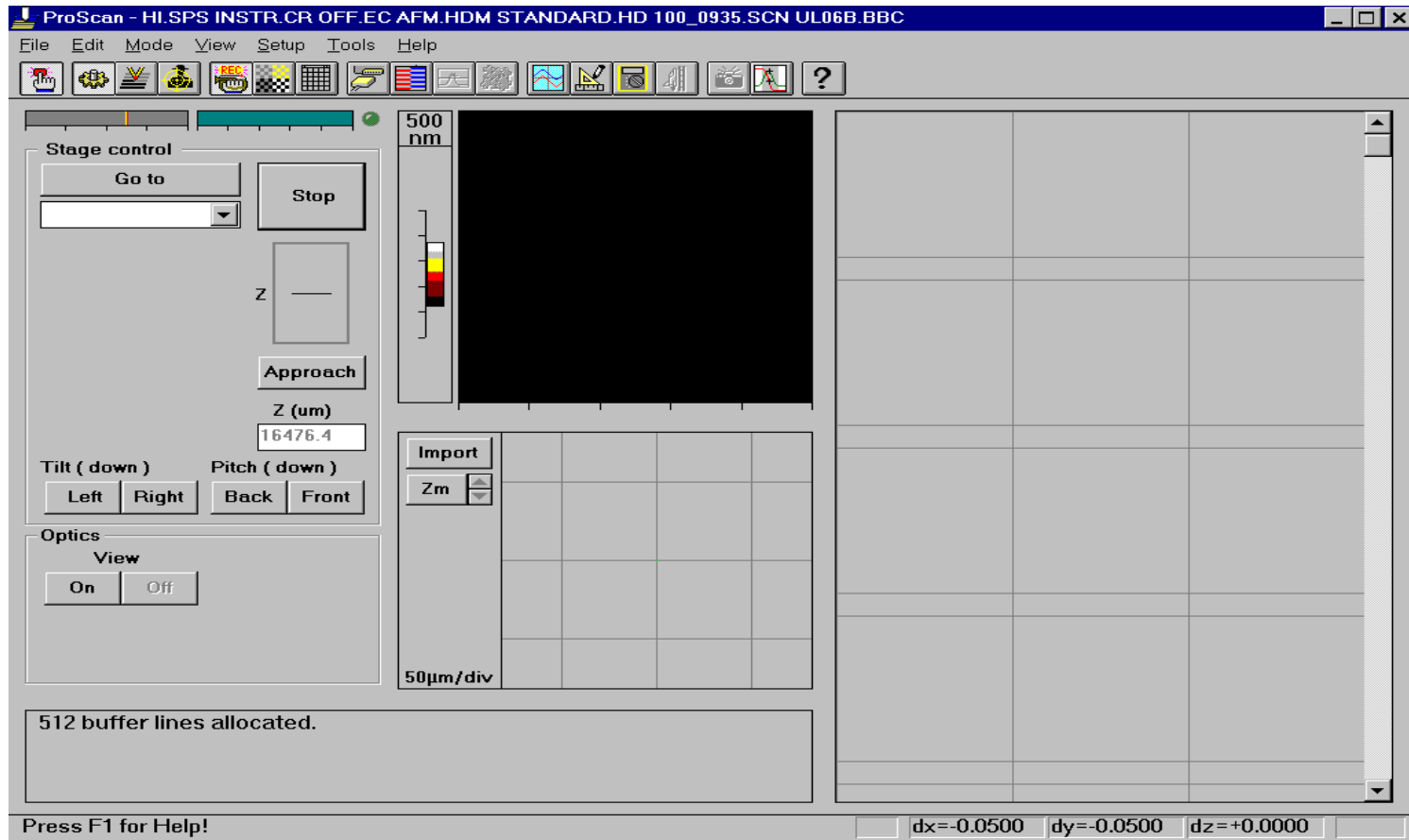
Figura 32: Conexión de cables para los componentes del sistema CPII



Fuente: Veeco Inc

## ANEXO 4

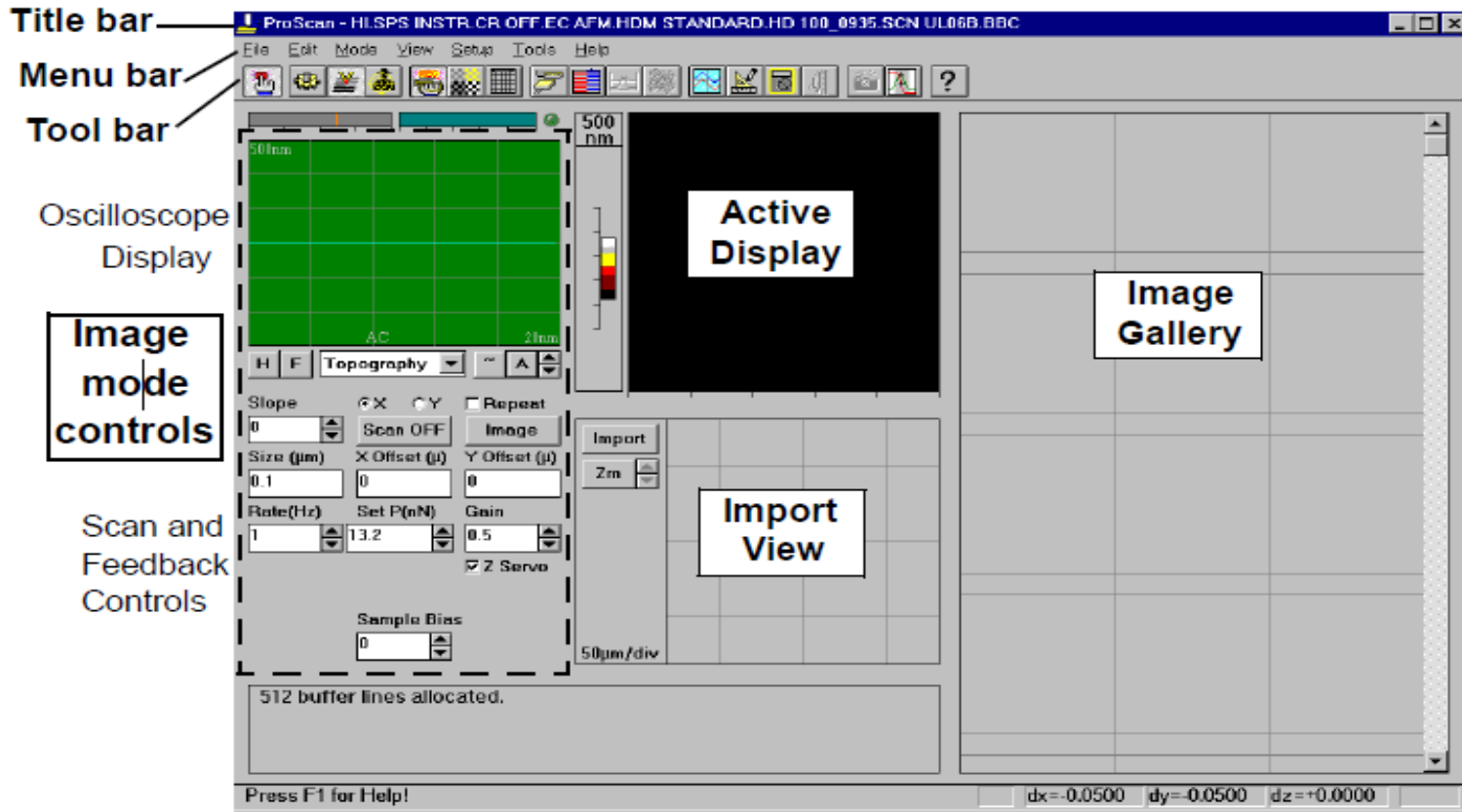
Figura 33: Interfaz del software ProScan data acquisition en modo movimiento



Fuente: Veeco Inc

## ANEXO 5

Figura 34: Interfaz del software PROSCAN data acquisition en modo imagen



Fuente: Veeco Inc

## ANEXO 6

### INSTALACIÓN DE LA PLATAFORMA OMERO PARA UNIX<sup>81</sup>

Para poder realizar la instalación se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

1. [Prerequisitos](#)
2. [Variables de entorno](#)
3. [Creando una base de datos como root](#)
4. [Ubicacion de su repositorio binario OMERO](#)
5. [Instalacion](#)
6. [OMERO.web y Administracion](#)

#### **OMERO.server Instalacion para plataformas basadas en UNIX (Incluyendo Mac OS X)**

- Si está actualizando su instalación de OMERO.server revise la página de actualización<sup>82</sup>.
- Si quiere instalar en Microsoft Windows revise la página de instalación en Windows<sup>83</sup>.
- Información adicional para Mac usando MacPorts<sup>84</sup> o descarga manual en Mac\_OS\_X\_10.5<sup>85</sup> puede ser usada para usuarios menos experimentados.

La instalación requiere una cuenta de nivel “root” de la cual usted conozca la contraseña, si no está seguro del significado de una cuenta nivel “root”, o si en general tiene problemas con los diferentes usuarios/contraseñas que se describen en esta guía de instalación, por favor revise la sección de solución de problemas<sup>86</sup> relacionados con contraseñas.

---

<sup>81</sup> Traducción de la guía oficial de instalación de Omero OME

<sup>82</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/upgrade>

<sup>83</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/install-windows>

<sup>84</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/install-walkthrough-on-10.6-using-macports>

<sup>85</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/install-omero-4.2-on-mac-os-x-10.5>

<sup>86</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/troubleshooting#section-3>

## PREREQUISITOS

**NOTA:** La instalación de las aplicaciones requeridas está fuera del alcance de este documento. Para distribuciones Linux debería usar el administrador de paquetes por defecto. Para Mac OS X hay información adicional en Mac\_OS\_X\_10.5 y MacPorts para usuarios menos experimentados.

**Se necesita tener instalado:**

- **PostgreSQL 8.1 o superior y configurado con el lenguaje PL/pgSQL, adicionalmente debe recibir conexiones TCP.** La versión 8.1 carece de funciones críticas para el desempeño óptimo, revise [Software\\_Limitations](#)<sup>87</sup> para obtener más información, la versión 8.4 mejora significativamente las opciones de seguridad y puede ser difícil para principiantes. Le sugerimos usar la versión 8.3, revise [OMERO\\_and\\_PostgreSQL](#)<sup>88</sup> para más instrucciones.
- **Java 1.5 SE Development Kit (JDK) o superior instalado**

Puede descargar este software del sitio oficial de Java en Sun<sup>89</sup>, luego ejecuta los siguientes comandos

```
#!/sh
# You can check which version of Java is currently available
# to you via your $PATH as follows...
$ which java
/usr/bin/java
$ java -version
java version "1.6.0"
Java(TM) SE Runtime Environment (build 1.6.0-b105)
Java HotSpot(TM) Server VM (build 1.6.0-b105, mixed mode)

# Further, you can see if you have the Java compiler (Java SDK)
# installed and available via your $PATH as follows...
```

---

<sup>87</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/troubleshooting#section-20>

<sup>88</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/postgresql>

<sup>89</sup> <http://java.sun.com/javase/downloads/index.jsp>

```
$ which javac
/usr/bin/javac
$ javac -version
javac 1.6.0
```

En sistemas con OpenJDK<sup>90</sup> instalado por defecto, será necesario desactivarlo y seleccionar la versión de Sun Microsystems.

- **Ice 3.3.x instalado**

El código fuente UNIX y los paquetes binarios están disponibles en la página oficial de ZeroC. La última distribución compatible es la distribución\_3.3.1. ZeroC no provee binarios que trabajen para Snow Leopard (Mac OSX). Glencoe Software a creado una versión para la comunidad: `Ice-3.3.1-64.tar.bz2`<sup>91</sup> (sha1=eeebd9865869bb513f2a5274a09aa498418bb4db)

- **Python 2.4.x o superior instalado.** Las versiones de Python entre la 2.4 y la 2.6 (por problemas de compatibilidad con Python 3.0, Django no trabaja actualmente con Python 3.0; para más información revise la pagina de instalación de Django<sup>92</sup>.

**Los siguientes pasos son opcionales dependiendo de qué servicios necesite utilizar.**

- **Python Imaging Library(Librería Grafica de Phyton)** (para OMERO.web y la función de exportar) Los paquetes disponibles para su distribución los puede encontrar en el sitio oficial de pytonware<sup>93</sup>.
- **Matplot Lib(Librerua de Matplot)** (solo para OMERO.web) Los paquetes disponibles para su distribución los puede encontrar en el sitio oficial de `matplotlib`<sup>94</sup>.

---

<sup>90</sup> <http://openjdk.java.net/>

<sup>91</sup> <https://www.glencoesoftware.com/mac/10.6/Ice-3.3.1-64.tar.bz2>

<sup>92</sup> <http://docs.djangoproject.com/en/1.1/intro/install/>

<sup>93</sup> <http://www.pythonware.com/products/pil/>

<sup>94</sup> <http://matplotliblib.sourceforge.net/>

- **NumPy Lib(Libreria NumPy)** (para servicios de interpretación) Este paquete puede estar ya instalado como una dependencia de la Librería de Matplot, pero si no deberá instalarla para usar los servicios de interpretación. Los paquetes disponibles para su distribución los puede encontrar en el sitio oficial de NumPy\_Lib<sup>95</sup>.
- **PyTables Lib(Libreria PyTables)** (para OMERO.tables<sup>96</sup>) PyTables<sup>97</sup> está disponible en su sitio oficial.

**Finalmente, necesitara el OMERO server:**

- **OMERO.server tar.bz2<sup>98</sup>** disponible en la página de descarga de OMERO.

### **Environment Variables(VARIABLES de entorno)**

Como prerrequisito para ejecutarse correctamente, su PATH, PYTHONPATH, y (DY)LD\_LIBRARY\_PATH variables de entorno deben estar configuradas de forma correcta. Si usted instaló los prerrequisitos a través de un administrador de paquetes como rpm, apt-get, o macports, estas ya deberían estar configuradas. En caso de no está configuradas de forma correcta o su instalación fue manual deberá asignarlas usted.

- **Creando la base de datos como usuario postgres**

Probablemente el paso más importante para que el sistema del servidor trabaje correctamente es una configuración adecuada de la base de datos.

En la mayoría de los sistemas, se crea un usuario "postgres" con privilegios de administrador, mientras que el usuario de UNIX root no tiene estos privilegios. Entonces es necesario iniciar como usuario postgres o usar el comando sudo:

---

<sup>95</sup> <http://numpy.scipy.org/>

<sup>96</sup> <http://trac.openmicroscopy.org.uk/ome/wiki/OmeroTables>

<sup>97</sup> <http://www.pytables.org/moin/Downloads>

<sup>98</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/downloads>

- Cree usuario no-superusuario de base de datos y guarde la contraseña. El nombre por defecto y la contraseña para este usuario es “omero”. Si desea escoger otros valores, deberá configurar las propiedades omero.db.name y omero.db.pass.

```
# Para PostgreSQL 8.1.x, 8.2.x, 8.3.x, 8.4.x
# La contraseña es la del root
su
Password:
su postgres
createuser -P -D -R -S omero
```

- Crear una base de datos para el OMERO<sup>99</sup>:

```
su
Password:
su postgres
createdb -O omero omero
```

- Agregue el lenguaje PL/pgSQL a su base de datos<sup>100</sup>:

```
su
Password:
su postgres
createlang plpgsql omero
```

- Asegúrese de que la base de datos este creada y que se tenga la autenticación de cliente PostgreSQL configurada correctamente, adicionalmente que el dueño de la base de datos sea **omero**.

```
$ psql -h localhost -U omero -l
```

```
Password for user omero:
```

```
List of databases
Name | Owner | Encoding
-----+-----+-----
omero | omero | SQL_ASCII
```

<sup>99</sup> Las primeras tres líneas no son necesarias si ya está como usuario postgres.

<sup>100</sup> ibid

```
postgres | postgres | SQL_ASCII
template0 | postgres | SQL_ASCII
template1 | postgres | SQL_ASCII
(4 rows)
```

Si tiene problemas, especialmente en el último paso, revise OMERO\_and\_PostgreSQL<sup>101</sup>, ya que es posible que el mecanismo de autenticación esté mal configurado.

- **Ubicación para su repositorio binaria OMERO**

- Cree un directorio para los datos del repositorio binario del OMERO. /OMERO es la ruta por defecto y debería ser usada a menos que tenga un caso muy específico que no lo permita y usted sepa lo que esta haciendo.
- Esta no es la ubicación de instalación del OMERO, es un directorio aparte que usa el OMERO.server para guardar datos binarios.
- Puede leer más acerca del repositorio binario del OMERO en la sección de repositorios\_binarios<sup>102</sup> del sitio oficial de la plataforma OMERO.

```
sudo mkdir /OMERO
```

- Cambie los permisos del directorio. /OMERO \*debe poder ser accesado por el usuario que iniciara los servicios del OMERO. Puede encontrar su nombre de usuario y editar los permisos de forma correcta así:

```
$ whoami
omero
$ sudo chown -R omero /OMERO
```

---

<sup>101</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/postgresql>

<sup>102</sup> <http://www.openmicroscopy.org/site/support/omero4/server/binary-repository>

## Instalación

- Extraiga el OMERO y para el ejemplo la ruta de instalación será:  
~/Desktop/omero\_dist
- Opcionalmente, revise ~/Desktop/omero\_dist/etc/omero.properties que contiene la configuración por defecto. Para abrir el archivo utilice un editor de texto. No edite el archivo. Cualquier configuración que desee hacer puede ser realizada en el siguiente paso.
- Cambie cualquier configuración necesaria usando bin/omero config, incluyendo el usuario y/o contraseña para la base de datos del 'omero' esto solo si no son "omero".

```
cd ~/Desktop/omero
bin/omero config set omero.db.name 'myDatabase'
bin/omero config set omero.db.user 'me'
bin/omero config set omero.db.pass 'TopSecret'
```

- Si eligió no usar la ubicación por defecto del Repositorio Binario del OMERO asegúrese de configurar la propiedad omero.data.dir .
- Cree el script de inicialización del OMERO para la base de datos. Se le pedirá la versión del script que desea generar, donde ambos deberán ser aceptados por defecto, finalmente le pedirán la contraseña y confirmación para su recién creado usuario root del OMERO, se aconseja que esta contraseña no sea la misma que la del root del sistema.

```
$ cd ~/Desktop/omero
$ bin/omero db script
Please enter omero.db.version [OMERO4.2]:
Please enter omero.db.patch [0]:
Please enter password for new OMERO root user:
Please re-enter password for new OMERO root user:
Saving to ~/Desktop/omero/OMERO4.2__0.sql
```

- Inicialice la base de datos con el script

```
$ psql -h localhost -U omero omero < OMERO4.2__0.sql
```

- Inicie el servidor:

```
$ bin/omero admin start  
Creating var/master  
Initializing var/log  
Creating var/registry  
No descriptor given. Using etc/grid/default.xml
```

- **OMERO.web y Administración**

OMERO.web es el componente aplicativo web de la plataforma OMERO y puede ser iniciada para desarrollo en el puerto 4080 después de haber iniciado el servidor como se explica arriba. Este servidor web está escrito completamente en python y es ideal para desarrolla pruebas en OMERO.web.

Para iniciar el proceso:

```
$ bin/omero config set omero.web.application_server development  
$ bin/omero web syncmedia  
despues inicie/detenga el servicio con  
$ cd ~/Desktop/omero/  
$ bin/omero web start/stop  
Starting django development webserver...  
Validating models...  
0 errors found
```

```
Django version 1.1.1, using settings 'omeroweb.settings'  
Development server is running at http://0.0.0.0:4080/  
Quit the server with CONTROL-C.
```

Una vez configurado e iniciado el servidor puede usar su navegador preferido para la administración a través de la dirección.

## ANEXO 7

### PRUEBA DE USABILIDAD CON USUARIOS REMOTOS DEL AFM

#### OBJETIVOS DEL TEST DE USABILIDAD

Se busca evaluar el “*grado de aceptabilidad*”, mediante la ejecución de un guion de tareas y de un “*cuestionario SUS*” (Escala de Usabilidad del Sistema) por parte de los usuarios del AFM en el GOTS, con el fin de mejorar el sistema implementado que consta de:

- Sitio web del GOTS
- Plataforma para Telemicroscopía AFM en Tiempo Real
- Plataforma para Telemicroscopía Bajo Demanda (almacenamiento de imágenes de microscopía que pueden ser accedidas en cualquier momento por los usuarios a través de un navegador web)

#### PERFILES DE LOS USUARIOS

Los usuarios específicos son los miembros del Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales de la UIS que sepan manejar algunos de los modos del Microscopio de Fuerza Atómica<sup>103</sup> y puedan desenvolverse en sus softwares (ProScan, etc) por lo tanto, son personas con experiencia en el manejo del computador y diferentes tipos de software de microscopía de fuerza atómica o SPM.

---

<sup>103</sup> Para conocer los modos del AFM ir a la sección 2.3.2 llamada *Los modos de trabajo del AFM*

## GUIÓN DE TAREAS

A continuación se expondrá un conjunto de preguntas y series de tareas, cada una de las cuales está vinculada a ciertos objetivos. Las tareas se dividen en tres partes: la primera relacionada con el sitio web del GOTS, la segunda con la plataforma OMERO para Telemicroscopía Bajo Demanda, la tercera con la plataforma para Telemicroscopía en Tiempo Real. En el menú de servicios del sitio web del GOTS se encuentran enlaces que re direccionan hacia estas plataformas.

**Nota:** durante la ejecución de las tareas el usuario del sistema debe pensar en voz alta para grabar lo que diga mientras trabaja mientras trabaja para poder tomar nota de dudas, dificultades o errores que se vayan produciendo durante el proceso.

### **Primera Parte: Sitio web del GOTS**

Escenario: Suponga que es una persona que busca información sobre el Grupo de Óptica y Tratamiento de Señales (GOTS) en google y encuentra el enlace a al sitio web oficial del GOTS.

Dirijase al sitio web del GOTS y navegue en él.

#### Tareas:

1. Trate de registrarse en el sitio.
2. Trate de escribir un mensaje o tema en el foro.
3. Trate de solicitar una sesión de Telemicroscopía en Tiempo Real con el AFM.
4. Trate de envía un mensaje de contacto.

#### Pregunta:

¿Cómo le parece el sitio web del GOTS y que le parece que se deba mejorar en ella?

## **Segunda Parte: Telemicroscopía Bajo Demanda**

Escenario: Suponga que como miembro del GOTS tiene varias imágenes de microscopía y desea utilizar un servicio ofrecido por el grupo para guardar las imágenes en un sistema o plataforma con el fin de poder accederlas mediante un navegador web.

Ubicado en el sitio web del GOTS, realice los siguientes pasos:

1. Diríjase al menú de *“Servicios Ofrecidos”*.
2. Diríjase a *“Sesión OMERO en la web”*.
3. Acceda con su login y su password al OMERO.WebClient.

Tarea:

1. Trate de subir una imagen con el OMERO.importer.

Pregunta:

¿Cómo le parece la plataforma OMERO para almacenamiento de imágenes de microscopía y que le parece que se deba mejorar en ella?

## **Tercera Parte: Telemicroscopía en Tiempo Real**

Escenario: Suponga es una persona que desea realizar un análisis de una muestra en el microscopio AFM del GOTS y el grupo brinda el servicio de telemicroscopía AFM en tiempo-real para el análisis de las muestras que ya han sido previamente enviadas al operario in situ del AFM de la UIS-Guatiguará.

Ubicado en el sitio web del GOTS, realice los siguientes pasos:

1. Diríjase al menú de *“Servicios Ofrecidos”*.
2. Diríjase a *“Sesión AFM en Tiempo Real”*.

3. En la plataforma para Telemicroscopía AFM en tiempo real escoja la opción de “*Unirse a Junta*”.
4. Ingrese ID de junta, contraseña de la junta y su nombre.

Tarea:

1. Trate de obtener una imagen en modo no contacto (configurando los parámetros y ejecutando las acciones necesarias) conectándose con el microscopio AFM ubicado en el Laboratorio de Óptica y Tratamiento de Señales de la sede UIS-Guatiguará.
2. Trate de comunicarse con el operario in situ del AFM a través del chat.

Pregunta:

¿Cómo le parece la plataforma para el acceso y control remoto en tiempo real del AFM y qué le parece que se deba mejorar en ella?

**4. Cuestionario posterior a la prueba<sup>104</sup>**

Se pidió llenar el Cuestionario “*Escala de Usabilidad del Sistema*” (SUS) con 10 preguntas evaluadas a través de una escala Linkert de 1 a 5, donde 1 significa que está en completo desacuerdo y 5 en completo acuerdo.

---

<sup>104</sup> Este cuestionario puede ser consultado en la sección de anexos

## ANEXO 8: CUESTIONARIO SUS, ESCALA DE USABILIDAD DEL SISTEMA

|    |   | En completo desacuerdo |   |   | En completo acuerdo |   |
|----|---|------------------------|---|---|---------------------|---|
|    |   | 1                      | 2 | 3 | 4                   | 5 |
| 1  | Creo que me gustará trabajar con frecuencia en este sistema                       |                        |   |   |                     |   |
| 2  | Encontré el sistema innecesariamente complejo                                     |                        |   |   |                     |   |
| 3  | Pienso que el sistema es fácil de usar  |                        |   |   |                     |   |
| 4  | Creo que necesitaría apoyo de un experto para utilizar el sistema                 |                        |   |   |                     |   |
| 5  | Encontré las diversas posibilidades del sistema bastante bien integradas          |                        |   |   |                     |   |
| 6  | Pienso que hay demasiada inconsistencia en el sistema                             |                        |   |   |                     |   |
| 7  | Creo que la mayoría de usuarios del AFM podrían hacer uso del sistema rápidamente |                        |   |   |                     |   |
| 8  | He encontrado el sistema bastante incómodo de utilizar                            |                        |   |   |                     |   |
| 9  | Me he sentido muy seguro haciendo uso del sistema                                 |                        |   |   |                     |   |
| 10 | Necesito aprender muchas cosas antes de poder manejarme con el sistema            |                        |   |   |                     |   |

Califique de 1 a 5 según su criterio marcando una 'x' en la casilla correspondiente

1, si está en completo acuerdo

5, si está en completo desacuerdo

Sugerencias:

CUESTIONARIO SUS, ESCALA DE USABILIDAD DEL SISTEMA

Nombre: *Martha Isabel Jerez Aceros. (16 de Abril de 2011)* de *9:40AM a 2 PM*  
*UIS AUDITORIO CENTIC - GOTS UIS G.*  
 En completo desacuerdo En completo acuerdo

|    |   | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----|---|---|---|---|---|
| 1  | Creo que me gustará trabajar con frecuencia en este sistema                       |   |   | X |   |
| 2  | Encontré el sistema innecesariamente complejo                                     | X |   |   |   |
| 3  | Pienso que el sistema es fácil de usar  |   |   | X |   |
| 4  | Creo que necesitaría apoyo de un experto para utilizar el sistema                 |   |   | X |   |
| 5  | Encontré las diversas posibilidades del sistema bastante bien integradas          |   |   | X |   |
| 6  | Pienso que hay demasiada inconsistencia en el sistema                             | X |   |   |   |
| 7  | Creo que la mayoría de usuarios del AFM podrían hacer uso del sistema rápidamente |   |   |   | X |
| 8  | He encontrado el sistema bastante incómodo de utilizar                            | X |   |   |   |
| 9  | Me he sentido muy seguro haciendo uso del sistema                                 |   |   | X |   |
| 10 | Necesito aprender muchas cosas antes de poder manejarme con el sistema            |   |   | X |   |

Califique de 1 a 5 según su criterio marcando una 'x' en la casilla correspondiente

1, si está en completo acuerdo

5, si está en completo desacuerdo

- Sugerencias: *Que en la Rectoría del Grupo se obtenga el equipo o los equipos que tiene el equipo laboratorio.*

CUESTIONARIO SUS, ESCALA DE USABILIDAD DEL SISTEMA

Nombre: **Luz DARE MORANTES M** (16 de abril de 2011) de 9:40am a 2 PM  
 Lugar: UIS AUDITORIO CENTIC - GOTS GUATIGUARÁ

En completo desacuerdo En completo acuerdo

|   | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---|---|---|---|---|
| 1 Creo que me gustará trabajar con frecuencia en este sistema                       |   |   |   | X |
| 2 Encontré el sistema innecesariamente complejo                                     | X | X |   |   |
| 3 Pienso que el sistema es fácil de usar  |   |   |   | X |
| 4 Creo que necesitaría apoyo de un experto para utilizar el sistema                 |   |   | X |   |
| 5 Encontré las diversas posibilidades del sistema bastante bien integradas          |   |   | X |   |
| 6 Pienso que hay demasiada inconsistencia en el sistema                             | X |   |   |   |
| 7 Creo que la mayoría de usuarios del AFM podrían hacer uso del sistema rápidamente |   |   | X |   |
| 8 He encontrado el sistema bastante incómodo de utilizar                            | X |   |   |   |
| 9 Me he sentido muy seguro haciendo uso del sistema                                 |   |   |   | X |
| 10 Necesito aprender muchas cosas antes de poder manejarme con el sistema           |   | X |   |   |

Califique de 1 a 5 según su criterio marcando una 'x' en la casilla correspondiente

1, si está en completo acuerdo

5, si está en completo desacuerdo

Sugerencias:

## ANEXO 9

### MANUAL DE ADMINISTRACIÓN DEL SERVICIO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE FORMA REMOTA DEL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA DEL LABORATORIO DE ÓPTICA DE LA UIS.

El administrador del servicio estará encargado de:

- 1) Administrar el sitio oficial del GOTS
  - a. Administrar los usuarios del Sitio.
  - b. Actualizar los datos de la página web del GOTS.
  - c. Moderar el foro.
- 2) Administrar el OMERO.Server .
- 3) Gestionar las citas entre los usuarios remotos y el operario encargado.
  - a. Informar al usuario remoto de las reglas y condiciones del servicio.

Para realizar cada una de estas tareas deberá seguir los pasos descritos a continuación:

#### Administración del sitio oficial del GOTS

Para administrar los usuarios del foro el administrador deberá:

Ingresar a la página administrador del sitio oficial del GOTS con el usuario y contraseña proporcionados.

Figura 35: Interfaz de administración del sitio web del GOTS

**Administración del sitio web del GOTS**

•Usa un nombre de usuario y contraseña válido para poder tener acceso a la administración.\*

•Regresar a la página de inicio\*

•Nombre de usuario\* admin

•Contraseña\* .....

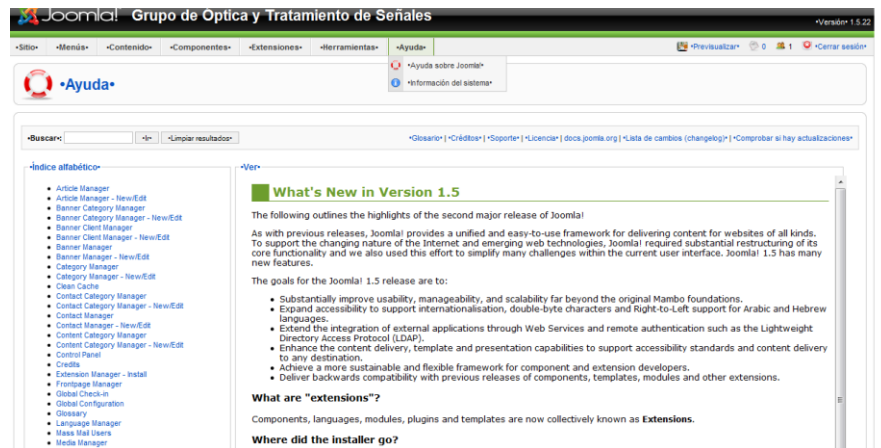
•Idioma\* Predeterminado\*

•Acceder\*

Fuente: Autores

Aquí podrá modificar el sitio y ecualizarlo, también podrá administrar los usuarios y el foro, para más información acerca de la administración del sitio diríjase a opción “Ayuda”.

Figura 36: Ayuda de Joomla!



Fuente: Joomla!

## Administración del OMERO.Server

Deberá dirigirse al sitio oficial del GOTS y seleccionar la opción “Servicios->Administrar OMERO-Server”

Figura 37: Menú de servicios en el sitio web del GOTS



Fuente: Autores

Es ingresar con el usuario y contraseña proporcionados anteriormente para acceder a la plataforma OMERO donde el administrador podrá gestionar los usuarios del OMERO.

Figura 38: Interfaz web para el inicio de sesión en la administración de la plataforma OMERO



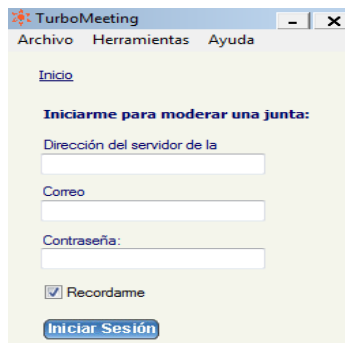
Fuente: Autores

### **Gestión de citas entre los usuarios remotos y el operario encargado.**

Al administrador se le asigna un correo electrónico que deberá revisar diariamente, en este el recibirá las solicitudes para el acceso al servicio, y a través de este correo mantendrá comunicación con el usuario que desea acceder al servicio, cuando el administrador tenga todos los datos solicitados por el operario concretará una cita con el usuario remoto.

Con la fecha y hora del uso del servicio ya acordados, el administrador deberá iniciar la sesión en el TurboMeeting con la dirección del servidor, el usuario y la contraseña proporcionados.

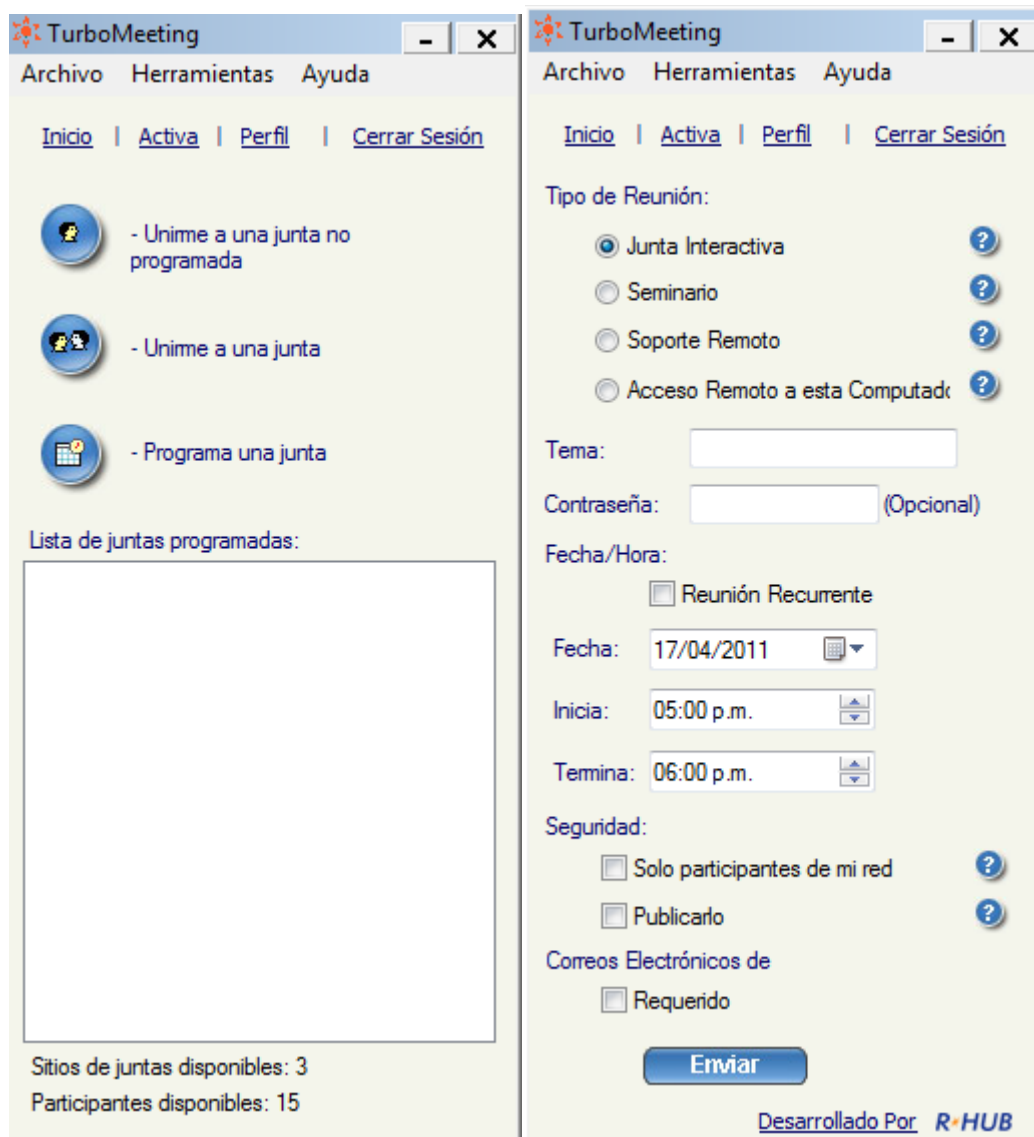
Figura 39: Formulario para ingresar y moderar una junta de interacción remota del AFM



Fuente: Autores

Deberá seleccionar la opción “Programar una junta” y llenar el formulario seleccionando la opción “Junta Interactiva”:

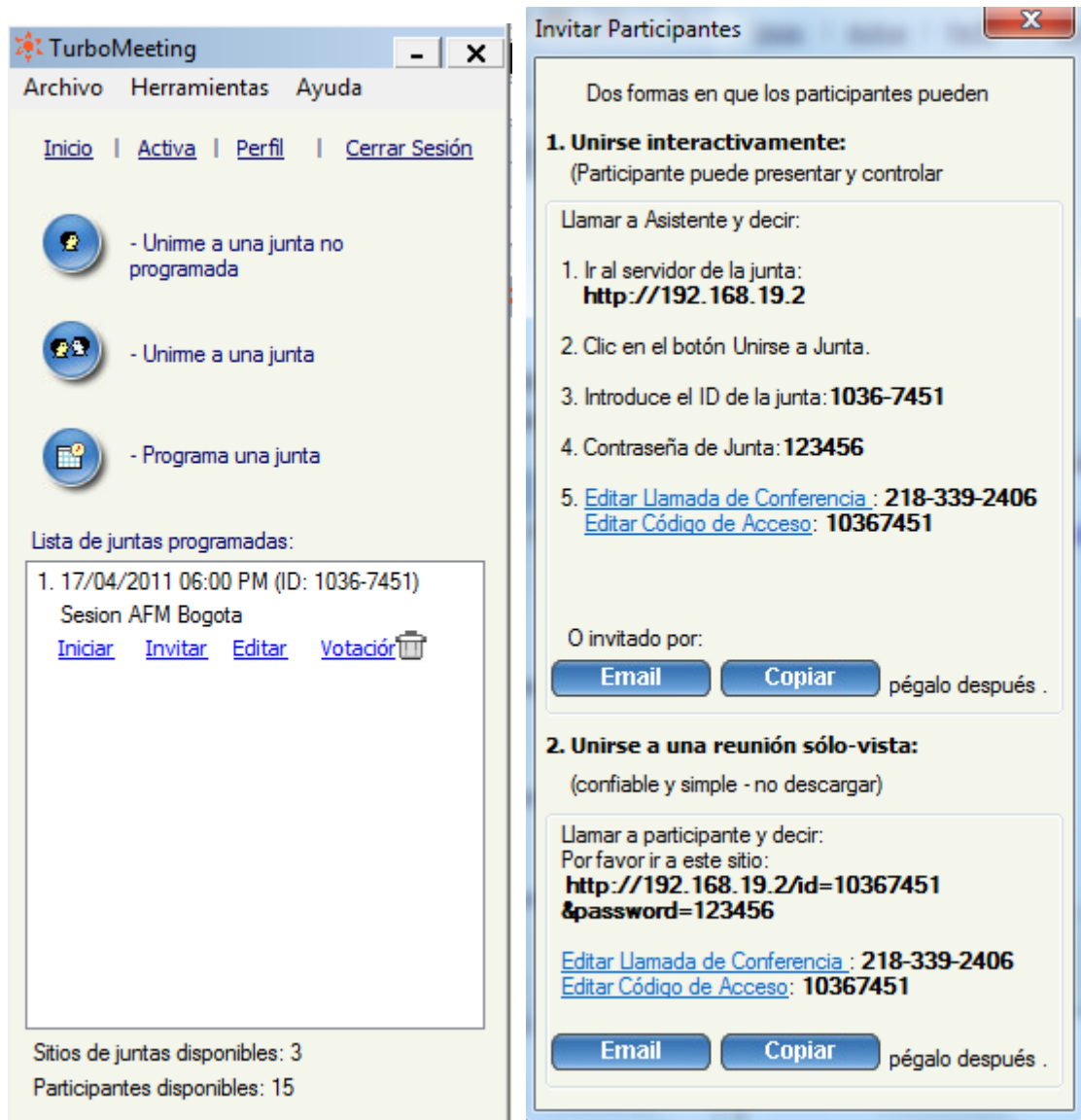
Figura 40: selección del tipo de reunión como junta interactiva para la interacción con el AFM



Fuente: Autores

Ahora con la junta ya programada deberá seleccionar la opción “Invitar”, donde podrá copiar la información de la junta para enviársela al usuario remoto:

Figura 41: interfaz para invitar participantes a una sesión de telemicroscopía con AFM



Fuente: autores

Junto con esta información el administrador deberá enviar al usuario las reglas y condiciones del servicio, establecidas por el operario para cada tipo de análisis en específico.

## ANEXO 10

### PROTOCOLO PARA EL ACCESO AL SERVICIO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE FORMA REMOTA DEL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA DEL LABORATORIO DE ÓPTICA DE LA UIS

Para acceder a este servicio debe Ingresar al sitio web oficial del GOTS.

Dirigirse a la opción “Servicios->Solicitud de sesión remota con el AFM”:

Figura 42: interfaz en el sitio web del GOTS para solicitar una sesión AFM en Tiempo Real



Fuente: autores

Aquí encontrará la forma de contactarse con el administrador y pedirle acceso al servicio.

Luego, diligencie los datos requeridos en el formulario para solicitud de Sesión Remota en Tiempo Real con el microscopio AFM, el cual se muestra a continuación:

Figura 43: Formulario para solicitud de sesión de telemicroscopía remota en tiempo real con el microscopio AFM

SERVICIOS Telemicroscopía RT Solicitud de sesión remota con el AFM

### Solicitud de Sesión Remota en Tiempo Real con el microscopio AFM

Llene los siguientes campos para solicitar una sesión de análisis remoto en tiempo real de una muestra con el Microscopio de Fuerza Atómica.

Nombre:

E-Mail:

País:

Universidad:

Teléfono:

Urgencia:


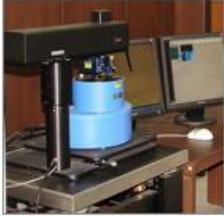
Técnica a usar:

Describe la muestra a analizar:

Escriba la fecha del análisis:

Mensaje:

Adjuntar un archivo:



Fuente: Autores

El administrador le responderá al correo proporcionado con la información necesaria para iniciar la gestión del servicio, así como las reglas de uso del servicio.

Cuando se tengan listos todos los detalles referentes a la muestra y las pruebas a realizar se concretará una fecha para el acceso al servicio.

En la fecha y la hora indicada el usuario remoto y el operario deberán encontrarse en sus respectivos puestos de trabajo para realizar las pruebas solicitadas. A través del correo electrónico el usuario remoto recibirá los datos de la sesión del TurboMeeting para el control remoto. El usuario remoto solo recibirá control total del microscopio cuando el operario se lo permita. Esto para evitar que ambos controlen el equipo al mismo tiempo y se generen errores.

El usuario deberá entonces dirigirse a la opción “Servicios->Sesión AFM en tiempo real”.

Paso seguido descargar el TurboMeeting como lo muestra la siguiente imagen:

Figura 44: interfaz para redireccionar a la plataforma Turbomeeting del CENTIC

Bienvenido a [Universidad Industrial de Santander](#) TurboMeeting!



**Unirse a junta**



**Iniciar junta**

▶ [Guía Rápida de Usuario](#)

▶ [Descargar TurboMeeting](#) si el navegador no carga la junta

[Administrador de servidor de conferencia web](#)

Copyright © 2003-2010 [RHUB Communications, Inc.](#) All rights reserved  
Version 4.3 (build#: 3.0.204-3.0.20)

Powered by the RHUB multi-function [web conferencing appliance](#)



Fuente: Autores

Paso seguido deberá hacer click en la opción “Unirse a Junta” y Diligenciar los datos que el administrador le proporcione a su correo electrónico.

Figura 45: Formulario para introducir ID de junta y unirse a sesión

**Unirse a junta** [Inicio](#)

ID de junta:

Contraseña de la junta:

Tu nombre:  (el nombre mostrado en la junta)

Fuente: Autores

Después de unirse a la junta tendrá comunicación con el operario a través de un chat.

Después de que el operario ubique la muestra con los requerimientos del usuario remoto y el laser y la punta estén posicionados de forma correcta, el operario le entregara el control al usuario remoto para que este ingrese los datos que requiere y realice la toma de imágenes y datos. Se le recomienda al usuario remoto que consulte con el operario cualquier inquietud que tenga antes de realizar este procedimiento, adicionalmente de mantener la comunicación a través del chat proporcionado. Cuando termine la toma de datos deberá regresar el control al operario para que este ajuste el microscopio.

El usuario remoto después podrá acceder a las imágenes tomadas a través de la opción: “Servicios->Sesión OMERO en la web” con el usuario y contraseña que el administrador le proporcione cuando las imágenes estén en el servidor.

Si desea más información diríjase al Foro del sitio oficial del GOTS o contacte al administrador.

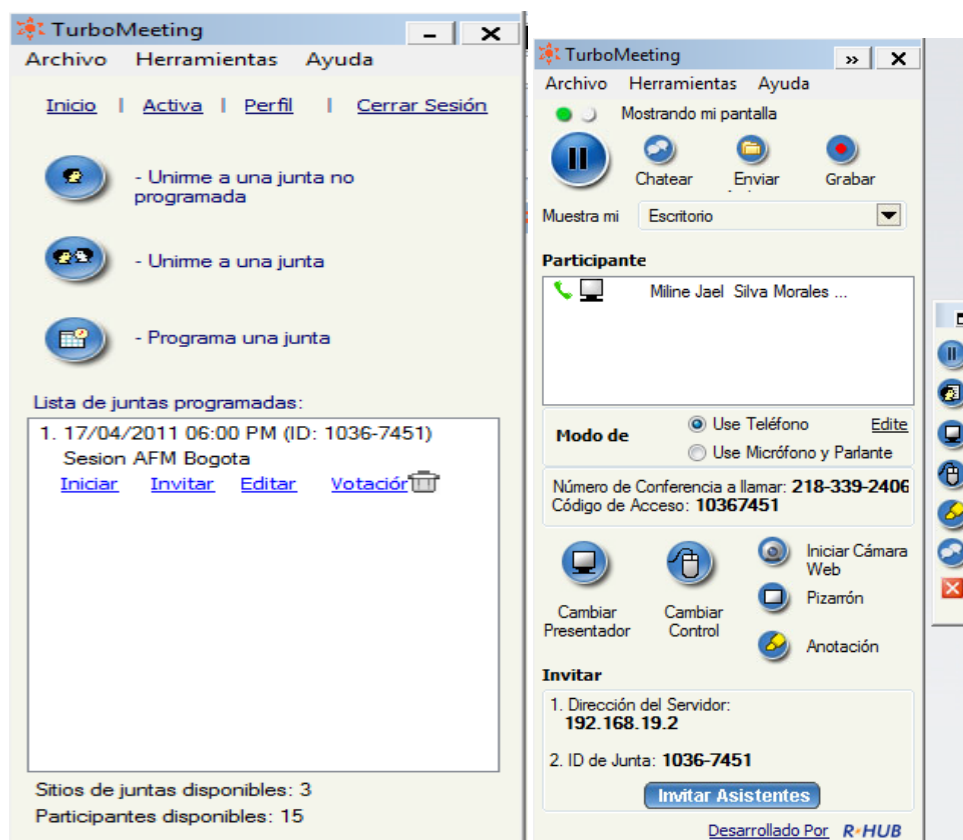
## ANEXO 11

### MANUAL DEL OPERARIO LOCAL DEL SERVICIO DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE FORMA REMOTA DEL MICROSCOPIO DE FUERZA ATÓMICA DEL LABORATORIO DE ÓPTICA DE LA UIS

El operario deberá agendar las reuniones que el administrador le informe y decidir en conjunto la fecha de la junta. También deberá determinar que reglas y condiciones son necesarias para cumplir con los requerimientos del usuario remoto.

En la fecha indicada el operario deberá iniciar sesión en el TurboMeeting y seleccionar la opción Iniciar en la Junta programada.

Figura 46: Interfaz para Iniciar junta programada en Turbomeeting



Fuente: Autores

Y tendrá acceso a todas las opciones para realizar la junta. Lo primero será iniciar el servicio del chat para poder comunicarse con el usuario remoto. También se recomienda iniciar el servicio de Cámara Web para permitir una mejor visualización remota de la imagen mostrada por la cámara del AFM. Cuando el operario lo considere pertinente tiene la opción de “Cambiar Control” para permitir al usuario remoto tomar el control del microscopio.

Para más información acerca de las demás características del TurboMeeting diríjase a su manual<sup>105</sup>.

Cuando se termine la junta el operario estará encargado de subir las imágenes obtenidas al OMERO a través del OMERO.Importer.

---

<sup>105</sup> [http://www.rhubcom.com/v4/user\\_manual/user-manual-TurboMeet-features.htm](http://www.rhubcom.com/v4/user_manual/user-manual-TurboMeet-features.htm)

## ANEXO 12

### EXTRACTO DEL CÓDIGO FUENTE DEL PROTOTIPO PRELIMINAR DESARROLLADO PARA EL ACCESO REMOTO CLIENTE-SERVIDOR AL AFM

Este prototipo fue implementado para tratar de construir desde cero un software eficiente y de calidad para el acceso remoto del AFM. Durante el proceso de desarrollo de esta herramienta nos dimos cuenta que construir una herramienta de acceso remoto que satisfaga los requerimientos del AFM, de los datos multimedia transmitidos y de los usuarios del GOTS era bastante difícil.

El prototipo inicial constaba de dos aplicaciones java, el cliente y el servidor.

#### El servidor consta de:

*MouseServidor.java*  
*MouseImplementacion.java*  
*Mouse.java*

Estos se compilan para obtener:

*Mouse.class*  
*MouseImplementacion.class*  
*MouseServidor.class*

Adicionalmente se crea el Stub, que es parte fundamental del protocolo RMI, mediante *MouseImplementacion\_Stub.class* y el archivo de seguridad *client.policy*

*Mouse.java*

```
import java.rmi.Remote;
import java.rmi.RemoteException;
public interface Mouse extends Remote{
    public void coordenadas(int x , int y) throws RemoteException;
    public void dodick() throws RemoteException;
}
```

En esta clase es la interfase entre el cliente y el servidor, y en ella están definidas todas los métodos que podrán ser accesibles desde el cliente, esta clase extiende la clase de RMI remote.

### *MouseImplementacion.java*

```
import java.rmi.RemoteException;
import java.rmi.server.UnicastRemoteObject;
import java.awt.Robot; import java.awt.event.InputEvent;
import rmi.Mouse;
public class MouseImplementacion extends UnicastRemoteObject implements Mouse{    private
static final long serialVersionUID = 1644314846547450618L;
    Robot robot = null;
    protected MouseImplementacion() throws RemoteException {
        try{
            robot = new Robot();
        }
        catch(Exception e){
            System.out.println( e.toString() );
        }
    }
    public void coordenadas(int x , int y) throws RemoteException{
        robot.mouseMove(x,y);
    }
    public void dodick() throws RemoteException{
        robot.mousePress(InputEvent.BUTTON1_MASK);
        robot.mouseRelease(InputEvent.BUTTON1_MASK);
    }
}
```

En esta clase están los métodos que se indicaron en la interface, por esta razón se implementa la interface, y se extiende la clase de RMI *UnicastRemoteObject*, dado que este objeto será el accesado de forma remota. Estos métodos usan la clase robot para realizar los movimientos del mouse, las coordenadas se reciben de forma remota cuando el cliente llama el método y da como parámetro las coordenadas.

### *MouseServidor.java*

```
import java.rmi.Naming;
public class MouseServidor {
    public static void main(String args[]){
        try{
            System.setProperty("java.security.policy", "client.policy");
            System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
            System.out.println("BIENVENIDO AL SERVIDOR DEL
                LABORATORIO DE OPTICA DE LA UIS");
            MouseImplementacion c = new MouseImplementacion();
            Naming.bind("mouse", c);
        }
    }
}
```

```

        }catch(Exception e){
            e.printStackTrace();
        }
    }}

```

Esta clase es el servidor, en ella se define la política de seguridad, y se crea un objeto de la clase MouseImplementacion, que es el objeto que será accesado de forma remota, este objeto se le da un nombre, que será el que usara el cliente.

### **El cliente consta de:**

Un *GUICliente.java* que se compila y se obtiene el *GUICliente.class*

Adicionalmente el cliente debe tener los siguientes archivos: *Mouse.class*, *MouseImplementacion\_Stub.class*, *client.policy*.

Que son, la interface que creamos en el servidor, las políticas de seguridad y el Stub, estos son los que permitirán la conexión con el servidor, y el uso de los métodos del objeto remoto.

*GUICliente.java*

```

import java.awt.Dimension;
import java.awt.event.MouseEvent;
import java.awt.event.MouseMotionAdapter;
import java.awt.event.MouseMotionListener;
import java.awt.event.MouseListener;
import java.awt.event.MouseAdapter;
import java.rmi.Naming; import java.rmi.RMISecurityManager;
import javax.swing.JFrame;
public class GUICliente extends JFrame {
    Mouse mouse;
    public GUICliente() {
        String url = "rmi://localhost/";
        try {
            System.setProperty("java.security.policy",
                "client.policy");
            System.setSecurityManager(new RMISecurityManager());
            mouse = (Mouse) Naming.lookup(url + "mouse");
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
        addMouseMotionListener(new MouseMotionAdapter() {
            public void mouseMoved(MouseEvent e) {
                enviarCoordenadas(e.getX(), e.getY());
            }
        });
    }
}

```

```

        addMouseListener(new MouseAdapter(){
            public void mouseClicked(MouseEvent e) {
                hacerClick();
            }
        });
    }
    public void hacerClick(){
        try {
            mouse.doclick();
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    public void enviarCoordenadas(int x, int y) {
        try {
            mouse.coordenadas(x, y);
        } catch (Exception e) {
            e.printStackTrace();
        }
    }
    public static void main(String args[]) {
        GUICliente f = new GUICliente();
        f.setSize(new Dimension(1024, 768));
        f.setVisible(true);
    }
}

```

En esta case se crea una ventana del tamaño de la resolución de la pantalla del servidor para que las coordenadas de la ventana coincidan con las posiciones de la pantalla del servidor.

Para que la colección sea posible se crea un objeto de tipo Mouse, que es la interface que recibimos del servidor, y realizamos la colección con la política de seguridad que recibimos también.

Aquí se llaman los métodos que el servidor nos provee y se dan como parámetros la posición actual del Mouse con respecto a la ventana creada, de esta forma controlando a ciegas remotamente el Mouse del servidor.