

PROTOTIPO DE LA ESTACIÓN DE TELEOPERACIÓN DEL INSTRUMENTO TRIBOLAB EN LA ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL

R. Mahtani, M. Béjar, F. Cuesta, A. Ollero, J. L. Huertas *

Dpto. Ing. Sistemas y Automática. Escuela Superior de Ingenieros, Universidad de Sevilla.
Camino de los Descubrimientos S/N. 41092 Sevilla (España).
{rajesh, mbejar, fede, aollero}@cartuja.us.es

* Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA).
Crtra. Ajalvir Km 4. 28850 Torrejón de Ardoz. España
huertasjl@inta.es

Resumen

En este artículo se describen el instrumento TriboLAB de la Estación Espacial Internacional y los experimentos tribológicos asociados. Se resumen los requisitos de usuario preliminares de la Estación de Teleoperación y se presenta el prototipo desarrollado bajo el sistema operativo Linux.

Palabras Clave: TriboLAB, Teleoperación, Interfaz Gráfico, Tribología, Lubricantes, Estación Espacial Internacional.

1. INTRODUCCIÓN

El conocimiento del complejo comportamiento de los sistemas lubricantes, tanto sólidos como líquidos, es un requisito fundamental para el aumento de la fiabilidad de los mecanismos presentes en naves que desarrollan su misión en el espacio [5].

Un mecanismo perteneciente a este tipo de naves debe desarrollar la función que le ha sido asignada bajo un ambiente ciertamente hostil. Este ambiente está constituido por la radiación espacial, las condiciones extremas de temperatura, los efectos mecánicos no deseados... Desafortunadamente, no es posible realizar el estudio de la presencia simultánea de todas estas condiciones por medio de una simulación en Tierra.

El estudio de nuevos materiales y procesos permite predecir su comportamiento en el espacio [3]. Sin embargo, antes de incorporarlos al diseño de naves espaciales, deben ser puestos a prueba en dicho entorno espacial. En este marco surge el proyecto TriboLAB.

La iniciativa parte de las entidades INTA (Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial), INASMET (Centro Tecnológico de Materiales) y ESTL (European Space Tribology Laboratory) [12]. Estas entidades proponen a la ESA (European Space Agency) desarrollar una serie de experimentos de caracterización de lubricantes en la ISS (Estación Espacial Internacional) con objeto de responder a la necesidad expuesta anteriormente.

Con tal fin se procede al diseño del instrumento TriboLAB [13]. Este instrumento estará ubicado en la plataforma europea EuTEF (European Technology Exposure Facility), la cual a su vez se situará en la CEPF (Columbus External Payload Facility) de la Estación Espacial Internacional (ver Figura 1).



Figura 1: Columbus External Payload Facility

Cabe señalar el hecho de que TriboLAB será el primer instrumento español que forme parte de la Estación Espacial Internacional.

El trabajo realizado por los autores se divide en las siguientes partes:

- Requerimientos de usuario preliminares de la Estación de Teleoperación de TriboLAB.
- Diseño de un primer prototipo de la Estación de Teleoperación de TriboLAB.

En [6] se realiza una descripción detallada del software de control embarcado del instrumento TriboLAB. Esta descripción se corresponde con la especificación de requisitos del software, documento basado en los requisitos de usuario de dicho software de control [10] y que sigue los estándares existentes para aplicaciones espaciales ([4], [11]).

La implementación del prototipo de la Estación de Teleoperación permitirá la validación temprana del concepto de operación propuesto, y por tanto de los requisitos de usuario (su idoneidad, completitud, etc.), con la consiguiente economía de esfuerzo en fases más avanzadas.

Este artículo está organizado tal como se describe a continuación. En la sección 2 se presenta el diagrama de bloques del sistema completo de TriboLAB y se describen los distintos componentes. En la sección 3 se describen tanto los experimentos concretos que TriboLAB debe llevar a cabo así como el propio instrumento. En la sección 4 se resumen los requerimientos de usuario de la Estación de Teleoperación y se presenta el prototipo implementado a partir de dichos requerimientos. El artículo finaliza con las conclusiones y referencias.

2. DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA TRIBOLAB

La Figura 2 muestra el diagrama funcional del sistema completo.



Figura 2: Diagrama funcional del Sistema TriboLAB

A continuación se definen los distintos elementos de este diagrama de bloques.

El instrumento TriboLAB (TriboLAB FS) estará situado a bordo de la Estación Espacial Internacional. El software encargado de iniciar, controlar y finalizar la ejecución de los experimentos así como de

gestionar el envío de información a Tierra se denomina Tribotester [9].

El EuTEF FS (segmento de vuelo de EuTEF) proporciona interfaces estándares de tipo mecánico, térmico, eléctrico y de datos a los instrumentos (entre ellos a TriboLAB) a través de un computador central, una unidad de distribución de energía y hardware mecánico y térmico [2].

El ISS FS (segmento de vuelo de la Estación Espacial Internacional) y el ISS GS (segmento de tierra de la Estación Espacial Internacional) constituyen el enlace físico de datos [2].

El EuTEF GS (segmento de tierra de EuTEF) es un sistema distribuido con dos funcionalidades principales; por un lado, hacer de interfaz con el segmento de tierra de la Estación Espacial Internacional; por otro, centralizar funciones tales como monitorización y control, archivado de datos, presentación de datos y validación [2].

La Estación de Teleoperación de TriboLAB (TriboLAB IS) se encarga de permitir al usuario en tierra iniciar y finalizar la ejecución de experimentos, así como mostrar los datos científicos que se reciban del instrumento. Además, monitoriza el estado de TriboLAB.

3. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS Y DEL INSTRUMENTO

3.1. DESCRIPCIÓN DE LOS EXPERIMENTOS

Se describen aquí los tres tipos de experimento que se llevarán a cabo en el instrumento TriboLAB [5].

3.1.1. Experimento POD (Pin On Disk)

Este experimento tribológico de perno en disco (POD) tiene como objeto medir las propiedades de fricción y desgaste de combinaciones de metales y lubricantes bajo unas condiciones establecidas de carga, velocidad y temperatura [1].

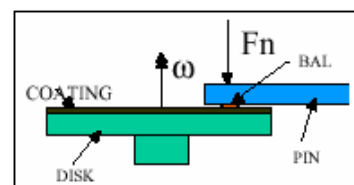


Figura 3: Pin On Disk

El mecanismo consiste en un perno que se desliza sobre la superficie plana de un disco que está rotando en un plano perpendicular al plano del perno (ver Figura 3). El lubricante sometido al experimento se encuentra en el recipiente en el que se halla el disco mencionado anteriormente. Dicho lubricante es esparcido rápidamente en la zona de contacto por medio de la rotación del disco.

3.1.2. Experimento BB (Ball Bearing)

Si bien las medidas de la fricción y del desgaste obtenidas por un tribómetro con una configuración POD son de gran utilidad, existe también interés en obtener estos mismos parámetros a nivel de componente, como puede ser el caso de un cojinete a bola o BB (ver Figura 4).

Estos cojinetes a bola son ampliamente utilizados en instrumentos y máquinas con el objeto de minimizar la fricción y la pérdida de fuerza.

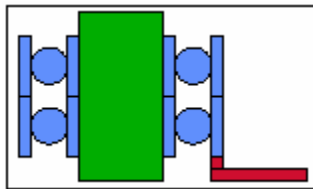


Figura 4: Ball Bearing

3.1.3. Experimento EC (Effusion Cell)

Este experimento (ver Figura 5) tiene como finalidad comparar las pérdidas de fluido teóricas para un conjunto de diseños de sellado con las de un sistema real.

Por simplicidad, el experimento es pasivo, por lo que únicamente será necesario efectuar medidas de temperatura a lo largo su ejecución. El resto de acciones se realizarían en una fase posterior al desarrollo del experimento.

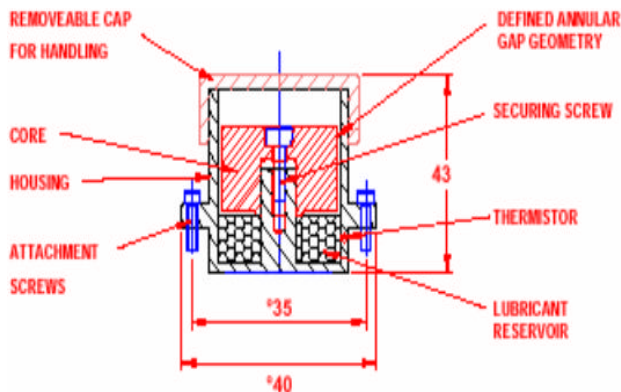


Figura 5: Effusion Cell

3.2. DESCRIPCIÓN DEL INSTRUMENTO

La Figura 6 muestra el aspecto del instrumento TriboLAB [12].

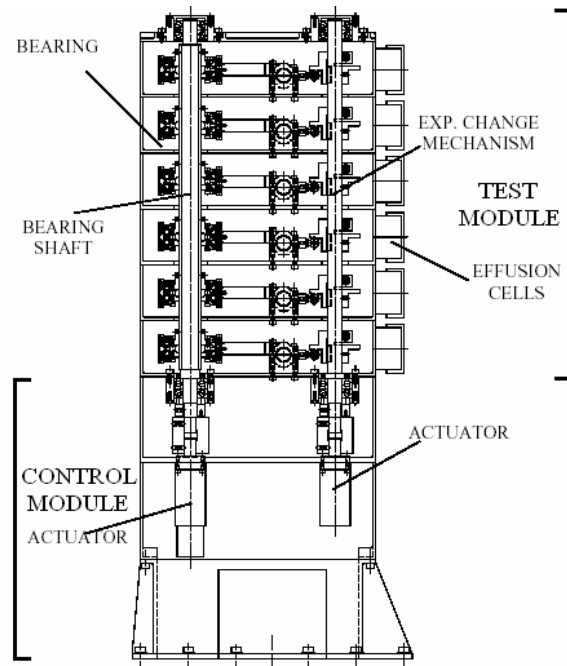


Figura 6: TriboLAB. Sección lateral

El instrumento está compuesto por dos módulos principales: el Módulo de Test y el Módulo de Control.

El Módulo de Test se ubica en la parte superior y contiene los dispositivos relativos a los experimentos. El Módulo de Control alberga el motor reductor, la electrónica y la interfaz con EuTEF.

La celda básica del Módulo de Test alberga los tres tipos de experimentos de TriboLAB, i.e., POD, BB y EC, y se muestra en la Figura 7.

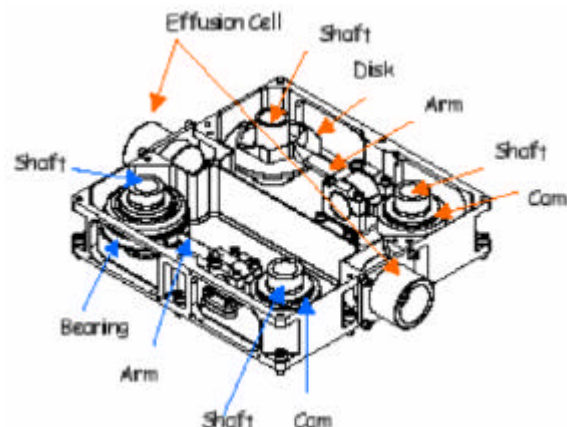


Figura 7: Celda Básica de experimentos

En el experimento POD, los discos están enroscados a un eje que da vueltas, dirigido por un motor reductor situado en el extremo inferior. La posición del perno está controlada por levas diseñadas para permitir experimentar con los discos revestidos secuencialmente, uno tras otro [8].

El concepto de diseño para los cojinetes a bola (BB) es similar al anterior, añadiéndose también la posibilidad de experimentar con un conjunto de tres BB simultáneamente. No obstante, también se admiten configuraciones de uno o dos BB.

La configuración se completa con doce EC localizadas en los dos lados del instrumento.

4. SISTEMA DE TELEOPERACIÓN (IGSE)

El Instrument Ground Support Equipment (IGSE) está formado por el equipo de soporte eléctrico y mecánico que se usará en la fase de integración y validación así como en la misión.

Debido a los problemas de comunicación existentes con sistemas espaciales (grandes distancias, retardos importantes...), la Estación de Teleoperación no será de respuesta inmediata [6]. Asimismo, para la teleoperación se ha utilizado un conjunto específico de órdenes de alto nivel, de modo que se minimice el flujo de órdenes necesarias para la realización de los experimentos. No obstante, se han incluido también órdenes de medio o bajo nivel que permiten tener un control más preciso del instrumento si fuera necesario.

Las principales funciones de la Estación de Teleoperación serán las de solicitar el inicio o el fin de un experimento, recibir y visualizar los resultados y monitorizar el estado del instrumento.

Se ha desarrollado una especificación de requisitos de usuario, y a partir de ella se ha implementado un prototipo de la Estación de Teleoperación.

4.1. REQUISITOS DE USUARIO

Antes de abordar la implementación de un prototipo de la Estación de Teleoperación se ha redactado un documento de tipo URS (User Requirement Specification). Se incluye en este apartado un resumen de los aspectos más importantes de dicho documento de requisitos de usuario.

4.1.1. Sistema Operativo

El sistema operativo que utilizará la Estación de Teleoperación será Linux. Esta decisión ha sido

tomada teniendo en consideración aspectos tales como:

- Disponibilidad de herramientas para la comunicación entre procesos.
- Disponibilidad de herramientas para el desarrollo de interfaces gráficas.
- Disponibilidad de herramientas para el desarrollo de bases de datos.
- Facilidad para la gestión de usuarios (permisos, accesos restringidos...).
- No necesidad de respuesta inmediata.
- Gestión de la política de seguridad (copias de seguridad).

Se ha escogido Linux debido a que dispone de todos estos puntos, y además es especialmente eficaz en algunos de ellos, tales como la gestión de usuarios. Este punto es importante debido a la existencia de dos tipos de usuario distintos, uno de ellos con capacidad limitada en el uso de las funcionalidades de la Estación de Teleoperación.

4.1.2. Funcionalidades relativas al experimento

Las órdenes asociadas a funcionalidades del experimento con los que se trabaja en la Estación de Teleoperación son los siguientes [6]:

- **RUN_POD**
La recepción en TriboLAB de esta orden provoca la ejecución de un experimento POD.
- **RUN_BB**
La recepción en TriboLAB de esta orden provoca la ejecución de un experimento BB.
- **STOP_EXP**
Con esta orden se solicita la finalización de la ejecución actual de un experimento.
- **GLOBAL_STATUS**
Esta orden solicita información del estado de TriboLAB.
- **CHANGE_MODE**
Esta orden permite cambiar el modo de operación de TriboLAB.
- **READ_DATA**
Con esta orden se solicita que la medida de un determinado sensor sea enviada a tierra.
- **DCMOTOR_RUN**
Esta orden tiene como misión solicitar que el motor de corriente continua ([7]) gire a una velocidad determinada.

- STEPMOTOR_RUN

Esta orden tiene como misión hacer que el motor paso a paso ([7]) gire a una velocidad determinada.

- DCMOTOR_MODE

Esta orden permite cambiar el modo de funcionamiento (Nominal/Redundante) de un motor de corriente continua [7].

- STEPMOTOR_MODE

Esta orden permite cambiar el modo de funcionamiento (Nominal/Redundante) de un motor paso a paso [7].

- STOPMOTOR

Orden utilizada para interrumpir el funcionamiento de un motor.

- OFFMOTOR

Orden utilizada para desconectar un motor.

Además de estas órdenes, se hace necesario el uso de la orden auxiliar DELAY, que tiene como objeto introducir un retardo en la secuencia de eventos programados en la Estación de Teleoperación. Conviene aclarar en este punto que la orden DELAY no implica el envío de ninguna información al instrumento TriboLAB.

4.1.3. Modos de Operación de TriboLAB

A continuación se presentan los distintos Modos de Operación en los que se puede encontrar el instrumento TriboLAB.

- Power Off Mode (POM)

No existe ninguna disponibilidad de potencia. La supervivencia de TriboLAB está garantizada por el control térmico pasivo. TriboLAB permanecerá un tiempo limitado en este modo de operación.

- Stay Alive Mode (SAM)

En este modo, todos los módulos de TriboLAB están apagados, pero hay potencia disponible para los calentadores encargados del control térmico de supervivencia.

- Survival Mode (SUM)

En este modo, todos los módulos de TriboLAB están apagados, pero hay potencia disponible para los calentadores encargados de la supervivencia. TriboLAB sería mantenido en este modo en temperaturas no operativas durante un tiempo indefinido.

- Active Mode (ACM)

En este modo TriboLAB dispone de energía, todos sus módulos están encendidos y el control térmico se lleva a cabo de forma nominal. Se divide en:

- Activation & Check-Out Mode (ACO)

Después de que TriboLAB posea energía, el instrumento realizará una comprobación de si el estado de funcionamiento es el correcto. Tras dicha comprobación, TriboLAB pasará bien al modo Nominal (resultado positivo) o bien al modo No Nominal (se ha detectado algún tipo de anomalía en TriboLAB).

- Nominal Mode (NOM)

En este modo, TriboLAB ejecuta experimentos o tareas específicas. Se divide en:

- Stand By Mode (SBM)

TriboLAB se encuentra esperando la recepción de órdenes que soliciten la ejecución de experimentos o bien de tareas específicas.

- Test Mode (TEM)

En este caso se está desarrollando un experimento POD o BB y se están transmitiendo los Datos de Telemetría a tierra de forma periódica. En el caso de que un experimento finalice de forma correcta, TriboLAB pasaría al modo NOM (SBM).

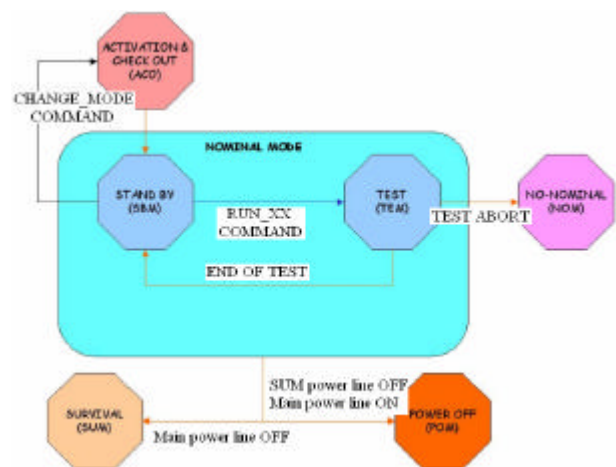


Figura 8: Transiciones posibles en el modo ACM

En la Figura 8 se muestran las transiciones que se pueden producir en el modo ACM.

Las funcionalidades de la Estación de Teleoperación se centran en el período de tiempo en el que el instrumento TriboLAB está en el modo ACM.

- Non Nominal Mode (NNM)

Este es un modo de seguridad utilizado para garantizar la integridad de TriboLAB cuando se dan condiciones de funcionamiento no nominales en el instrumento.

4.1.4. Secuencias permitidas de órdenes

Como se ha comentado anteriormente, una de las principales funcionalidades de la Estación de Teleoperación es el envío de órdenes a TriboLAB.

Con objeto de no sobrecargar al instrumento, se evitará el envío de órdenes incompatibles con el funcionamiento de TriboLAB por parte de la Estación de Teleoperación. No se autorizará por tanto cualquier secuencia de órdenes, sino que únicamente serán autorizadas las denominadas secuencias permitidas de órdenes. No obstante, el software embarcado debe implementar los mecanismos necesarios para rechazar aquellas órdenes que puedan resultar incompatibles con su Modo de Operación.

Estas secuencias permitidas de órdenes están formadas por órdenes compatibles con el Modo de Operación de TriboLAB resultante de la ejecución con éxito de la orden anterior en la secuencia. Si no hay orden anterior, una orden se considera permitida si es compatible con el Modo de Operación de TriboLAB.

La excepción a la definición de orden permitida es la orden STOP_EXP, que se considerará permitida sólo en el intervalo de tiempo que transcurre desde la aceptación con éxito de las órdenes RUN_POD o RUN_BB hasta que se complete la ejecución con éxito de dichas órdenes. En este período de tiempo el Modo de Operación de TriboLAB es TEM.

Modo de Operación compatible con la ejecución de la orden	Orden	Modo de Operación tras la ejecución con éxito de la orden
SBM	RUN_POD	SBM
SBM	RUN_BB	SBM
TEM	STOP_EXP	SBM
SBM	GLOBAL_STATUS	SBM
SBM, MTM	CHANGE_MODE	Modo solicitado
MTM	READ_DATA	MTM
MTM	DCMOTOR_RUN	MTM
MTM	STEPMOTOR_RUN	MTM
MTM	DCMOTOR_MODE	MTM
MTM	STEPMOTOR_MODE	MTM
MTM	STOPMOTOR	MTM
MTM	OFFMOTOR	MTM
SBM, MTM	DELAY	Modo anterior

Tabla 1: Tabla de modos y órdenes.

Por tanto, el hecho de que una orden sea incluida dentro de una secuencia permitida de órdenes en la

Estación de Teleoperación implica que se presupone que dicha orden será ejecutada con éxito.

En la Tabla 1 se muestran los Modos de Operación de TriboLAB compatibles con la ejecución de cada orden y el Modo de Operación de TriboLAB resultante de la ejecución con éxito de cada orden.

Nótese que la única orden admitida mientras TriboLAB está en el Modo de Operación TEM es STOP_EXP. Esta orden será enviada en el momento de incluirla en la cola porque, por su significado, no tiene sentido que sea pospuesta su ejecución.

4.1.5. Estructura en cola para secuencias permitidas de órdenes

Las posibles secuencias permitidas de órdenes que se generen se incluyen en una única cola principal de órdenes y se irán enviando a TriboLAB a través de EuTEF.

El objetivo que se persigue es que la cola principal en su totalidad sea una secuencia permitida de órdenes. Esto implica que los criterios explicados anteriormente de compatibilidad entre órdenes deben verificarse dos a dos para todos los elementos de la cola principal.

La cola principal está formada por:

- Las órdenes enviadas y ejecutadas.
- Las órdenes enviadas y no ejecutadas.
- Las órdenes enviadas y cuya ejecución fue iniciada, pero no finalizada.
- La última orden enviada.
- Las siguientes órdenes programadas.

4.1.6. Protocolo de envío de órdenes. Funcionamiento nominal

Las condiciones que deben verificarse para enviar una orden (N) son dos.

La primera es la recepción del ICRP (command accepted) correspondiente a la orden anterior ($N-1$) por parte del Sistema de Teleoperación.

La segunda, que el modo de operación de TriboLAB sea compatible con la orden (N).

4.1.7. Protocolo de envío de órdenes. Funcionamiento no nominal

Se dispone de una comunicación libre de errores entre el Segmento de Tierra de TriboLAB y su Segmento de Vuelo. Por lo tanto, el funcionamiento no nominal puede ser debido a la recepción de un ICRP (command failed).

Los pasos que debe seguir en ese supuesto la Estación de Teleoperación serán la inserción de un DELAY y el posterior reenvío de la orden. Si tras la repetición de estos dos pasos se sigue recibiendo un ICRP (command failed), se inserta un DELAY de retardo indefinido y el resto de órdenes pasa a un estado de espera (pospuesto).

4.1.8. Interfaz de usuario

En los puntos anteriores se han descrito las funcionalidades relacionadas con la iniciación y finalización de experimentos y la monitorización del estado del instrumento. El aspecto de la interfaz gráfica y del tratamiento de los datos obtenidos de TriboLAB se muestra en el próximo apartado.

4.2. PROTOTIPO DE LA ESTACIÓN DE TELEOPERACIÓN

4.2.1. Herramientas y librerías

Siguiendo los requerimientos de usuario, el prototipo se ha implementado bajo el sistema operativo Linux (distribución Mandrake 8.2).

Se han utilizado las librerías gráficas KDE 2.2/Qt, y el entorno de desarrollo KDevelop. Esto ha permitido desarrollar el prototipo (llamado triboteop) como una aplicación de tipo MDI (Multiple Document Interface).

4.2.2. Aspecto del prototipo

La interfaz gráfica de la Estación de Teleoperación presenta el aspecto de la Figura 9.

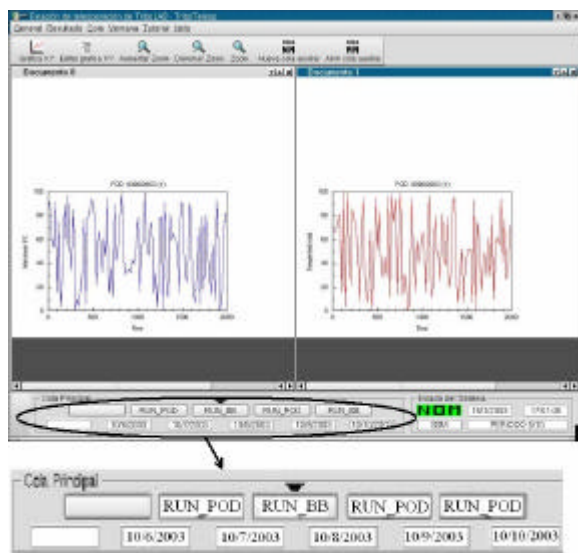


Figura 9: Interfaz de la Estación de Teleoperación.

Se distinguen tres zonas. La zona I es la que se sitúa en la parte superior. Presenta un menú con las distintas posibilidades que se le ofrecen al usuario, y una barra de herramientas con accesos rápidos. Esta zona permanece siempre visible y no puede ser ocultada por ninguna ventana de la aplicación.

La zona II está en la parte inferior de la pantalla, y muestra una serie de datos de interés. Permanece siempre visible, al igual que la zona I.

La zona III es el cuerpo central de la interfaz gráfica, en la que se abren ventanas que muestran información solicitada por el usuario.

4.2.3. Gestión de órdenes

La gestión de órdenes, como se comentó anteriormente, se realiza a través de la cola principal del sistema.

La interfaz de gestión de colas presenta el aspecto mostrado en la Figura 10.

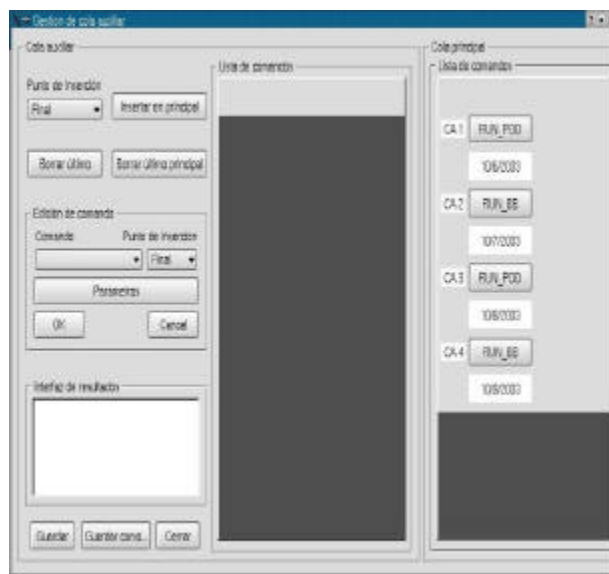


Figura 10: Interfaz de Gestión de Cola.

En la zona I aparece el menú “Cola”, a través del cual se puede acceder a la misma. Además, existe información permanentemente visible (en la zona II) del estado de la cola. Aparecen las dos órdenes que fueron ejecutados con anterioridad a la orden actual (en la Figura 9 únicamente fue ejecutado un RUN_POD), la orden actual (RUN_BB) y las dos órdenes programadas para ejecutarse después de la actual (un RUN_POD y un RUN_BB). Cada orden aparece entre dos fechas que se corresponden con su fecha de inicio y su fecha de inicialización.

4.2.4. Representación gráfica de resultados

A medida que se ejecuta un experimento en TriboLAB se reciben los resultados de dicho experimento en la Estación de Teleoperación. Una de las funcionalidades del prototipo descrito es la de permitir al usuario la selección de una serie de datos (resultados de los experimentos) y su representación gráfica. Para ello, el procedimiento recomendado es el siguiente:

- Acceder al diálogo de selección de par (Figura 11) a través del menú Resultado->Gráfica->Gráfica XY o su equivalente en la barra de herramientas.
- Rellenar los campos del diálogo y pulsar Ok.
- Guardar las gráficas representadas, si procede.
- Opcionalmente, realizar otras funcionalidades.

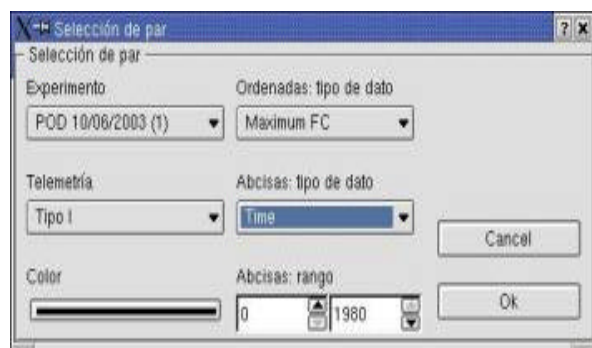


Figura 11: Diálogo de Selección de Par.

Si todos los datos han sido introducidos de manera adecuada, al pulsar Ok se dibuja el resultado en una ventana.

5. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado el sistema completo de TriboLAB y se han descrito los distintos componentes. Además, se ha presentado el instrumento y se han explicado los tres tipos de experimento que se realizarán mediante el mismo. Se han resumido los requerimientos de usuario de la Estación de Teleoperación y, finalmente, se ha presentado el prototipo de dicha estación, desarrollado bajo Linux.

Este prototipo es una versión preliminar que permitirá realizar pruebas de diversa índole, tanto de validación de los requisitos de usuario como de integración con el TriboLAB Flight Segment. La integración está prevista para finales del año 2003 y la implantación definitiva del sistema TriboLAB a bordo de la Estación Espacial Internacional está prevista para el año 2004.

Agradecimientos

Los autores agradecen la ayuda prestada en la realización de este trabajo por Javier Gómez Elvira, Ramón Fernández, César Martínez y Javier Rodríguez del INTA, así como de Ignacio Oñate e Iñaki Garmendia de INASMET.

Referencias

- [1] Bhushan B., Gupta B. K. (1997), Handbook of Tribology: Materials, Coatings and Surface Treatments, McGraw-Hill, New York (1991); Reprinted with corrections, Krieger Publishing Co., Malabar, Florida.
- [2] CGS, (2001) Experiment Interface Document-A (TEF-RQ-22000-001-CGS).
- [3] Dowson, D. (1998), History of Tribology, Second edition, Instn Mech. Engrs, London, UK.
- [4] ESA, (1999) Space Engineering Software (ECSS-E-40A).
- [5] INASMET, (2000) Experiment Definition (TBL/INAS/TNO/3000/001).
- [6] INTA, (2000) Experiment Interface Document-B (TBL/ICD/1100/002/INTA).
- [7] INTA, (2000) TriboLAB Electronics Architecture (TBL/TNO/2300/002/INTA).
- [8] INTA, (2000) TriboLAB Scientific Operation (TBL/TNO/3000/002/INTA).
- [9] INTA, (2000) TriboLAB Specification (TBL/SPE/1100/001/INTA).
- [10] INTA, (2000) Tribotester User Requirements Document (TBL/SPE/2600/01/INTA/00).
- [11] NASA, (2001) Application Software Standard (NASA 84K01705).
- [12] Serrano J., Gómez-Elvira J., Oñate J. I., Rodríguez A., Garmendia I., (2000). TriboLAB. A facility for tribological test in the International Space Station. *8th International Symposium on "Materials in a Space Environment*, Arcachon, Francia.
- [13] Serrano J., Gómez-Elvira J., Santiago R., Pazos J., Oñate J. I., Garmendia I., Rodríguez A., (2001). TriboLAB. A Space Tribometer. *9th European Space Mechanisms and Tribology Symposium*, Liège, Bélgica.