



Configuración y control remoto de un PLC mediante Servicio Web.

Autor: Isaac Gismera García

Director: Carlos E. Palau

Fecha de comienzo: 01/09/2011

Lugar de trabajo: Departamento de Comunicaciones

Objetivos

1. Desarrollo de un servicio web para un sistema de metrología.
2. Creación de un interfaz específico entre un PLC concreto y el servicio web en aras de conseguir una implementación específica para una industria metrológica.
3. Gestión y registro de Alarmas del sistema metrológico.
4. Creación de un protocolo ligero soportable en una conexión 3G.
5. Utilización de mecanismos de ejecución segura y autenticada de servicios web mediante el uso de SAML.

Metodología

Se han estudiado los requisitos previos de la aplicación y atendiendo a estos se ha realizado un estudio de los posibles métodos que podrían llevar a cabo esta aplicación de metrología. Se ha desarrollado una maquina industrial simulada para la realización de la fase de desarrollo. Sobre ella, se ha implementado una interfaz desarrollada en lenguaje Java, para la comunicación con la maquina industrial. Dicha interfaz fue utilizada primeramente con la maquina industrial simulada y posteriormente con maquinas industriales reales. Una vez establecidas y comprobadas las comunicaciones se desarrolló, en JSP, el servicio web por el que realizar la comunicación para la calibración y el control remoto de las máquinas. Se ha diseñado un sistema de registro de todas las posibles alarmas de forma que puedan ser gestionadas posteriormente por un servidor central, integrado en el puesto de control del proyecto CENIT FASyS. Por otra parte, se estudió la incorporación de dicho servicio web dentro de un entorno federado mediante mecanismos de single sign-on, en concreto el estándar SAML en su implementación simpleSAMLphp, dado su carácter abierto y la posibilidad de uso en diferentes sistemas debido a su desarrollo en PHP.

Desarrollo de prototipos y trabajo de laboratorio

Se realizó un prototipo de servicio web actuando sobre la arquitectura real en la que se implementará con objeto de obtener una confirmación de su viabilidad y observar el posible efecto de la red sobre las actuaciones y los cometidos para los que se desarrollo el servicio web. También se realizaron pruebas de SSO, desarrollando prototipos de los diferentes elementos que requiere el protocolo SAML. Así como la preparación para la integración del sistema en el entorno del proyecto CENIT FASyS.

Resultados

Se ha obtenido un prototipo del servicio web final, probando que la actuación sobre instrumentos metrológicos de forma remota es posible y que desenvuelve bien el cometido para el que fue diseñado. Este servicio se integra perfectamente dentro de una estructura federada, obteniendo así, un valor añadido a la seguridad en las metrología de forma remota. Dicho prototipo se apoya en una interfaz java que puede servir para máquinas industriales con diferentes funcionalidades, dando así un valor de escalabilidad al prototipo desarrollado.

Líneas futuras

Servidor central de alarmas y protocolos de actuación ante tales alarmas. Dicho servidor debería también incorporar la gestión de sensores que se desarrolla en el proyecto CENIT FASyS de manera que este servidor

sea el punto central de gestión de alarmas tanto de máquinas industriales como de sensores, y poder generar así unos mejores protocolos de actuación.

Incorporar protocolos de criptografía para añadir más seguridad y ampliar así la seguridad en la gestión remota metrológica. Estos protocolos criptográficos deben ser estudiados para no perjudicar en demasía la conexión 3G. Al mismo tiempo debido a la utilización de redes públicas de comunicación sin garantía de QoS, estudiar la mejora de inmunidad hacia el jitter que se produce.

Publicaciones

Isaac Gismera, Benjamín Molina, Carlos E. Palau, Manuel Esteve “Web-Based PLC Remote Control, Configuration and Operation”. URSI 2012

Abstract

La ingeniería metrológica tiene una alta dependencia de un buen calibrado de sus instrumentos para el desarrollo de su cometido. Dicha maquinaria metrológica es usada también en muy diversos ámbitos industriales. Dado que el proyecto FASyS tiene como objetivo de mejorar la competitividad empresarial a través del desarrollo de nuevos niveles en seguridad industrial, prevención de riesgos laborales y confort en el trabajo. Uno de los puntos de seguridad del trabajo que se tienen en cuenta es el correcto funcionamiento de la maquinaria de una fabrica, mucha de ella necesita un calibrado y mantenimiento por parte de personal especializado y con una cierta regularidad. Por ello, era necesario el desarrollo dentro del marco de este proyecto de una herramienta que permitiese dicho mantenimiento, por la seguridad de los trabajadores de la empresa, de manera remota. Por todo ello, se ha estudiado las distintas maneras de llevarlo a cabo y se ha desarrollado un servicio remoto de control metrológico, dentro de un marco federado de varias industrias. A este servicio remoto se le ha añadido una interfaz web intuitiva y manejable, accesible de forma segura y con el sistema de gestión de alarmas integrado en un entorno más amplio.

Autor: Gismera García, Isaac email: isgigar@teleco.upv.es

Director: Palau Salvador, Carlos E. email: cpalau@dc.com.upv.es

Fecha de entrega: 17-09-12

ÍNDICE

Configuración y control remoto de un PLC mediante Servicio Web.	1
I. Introducción.	5
I.1. Motivación.	5
II. Objetivos.	7
II.1. Objetivos Principales.	7
II.2. Objetivos Secundarios.	7
III. Trabajo relacionado.	8
III.1. Trabajo Relacionado.	8
III.2. Arquitecturas Potenciales.	8
III.3. Sistemas Actuales.	11
IV. Metodología.	12
IV.1. Simulador PLC.	12
IV.2. Interfaz Java-Jsp	13
V. Arquitectura del Sistema.	14
V.1. Arquitectura Física.	14
V.2. Arquitectura Lógica.	15
V.3. Single Sign-On.	16
VI. Implementación.	19
VI.1. Conexión Inicial.	19
VI.2. Estado.	21
VI.3. Regulación.	22
VI.4. V-Joystick.	23
VI.5. Alarmas.	26
VII. Evaluación.	27
VII.1. Objetiva.	27
VII.2. Subjetiva.	28
VIII. Conclusiones y trabajo futuro.	30
VIII.1. Análisis de resultados.	30
VIII.2. Revisión de objetivos.	30
VIII.3. Trabajo Futuro.	31
IX. AGRADECIMIENTOS.	32
X. REFERENCIAS.	33

I. Introducción.

La presente tesina ha sido realizada por **Isaac Gismera García** en el grupo de investigación de Sistemas y Aplicaciones de Tiempo Real Distribuidos (**SATDR**) del Departamento de Comunicaciones de la UPV, emplazado en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecomunicaciones (ETSIT) de la UPV. Ha estado bajo la supervisión del doctor Carlos E. Palau Salvador, director de la presente tesina.

I.1. Motivación.

Pese a que en los últimos años se ha hecho un gran esfuerzo para lograr un entorno de trabajo industrial, cada vez más seguro y saludable para los trabajadores, hay todavía varios aspectos que deben mejorarse dentro del propósito. Por tanto, es necesario desarrollar nuevas plataformas y la aplicación de los nuevos conocimientos y tecnologías en pos de conseguir el objetivo de aumentar la seguridad y el bienestar del trabajador en las fabricas, tanto en los procesos de manipulación como en los procesos mecanizados y de montaje. Entre estos procesos mecanizados podremos encuadrar también las acciones que engloban la metrología industrial.

El proyecto FASyS¹ (Fábrica Absolutamente Segura y Saludable) se dirige a este objetivo principal desde un marco multidisciplinar [1]. Tiene el objetivo de mejorar la competitividad empresarial a través del desarrollo de nuevos niveles en seguridad industrial y confort en el trabajo.

Las empresas dedicadas a proporcionar soluciones de ingeniería de metrología deben proporcionar un soporte continuo a sus clientes. Dichos clientes suelen encontrarse dispersos alrededor del mundo. Proporcionar un soporte metrológico a nivel global de máquinas especializadas basadas requiere una gran infraestructura. Más teniendo en cuenta que dichas máquinas están personalizadas a las necesidades del cliente. La interoperabilidad entre los operadores de la empresa metrológica y los técnicos de la empresa cliente es una característica crucial que asegurará un correcto funcionamiento, por tanto se puede considerar una característica obligatoria.

Este correcto funcionamiento de las máquinas de metrología tiene una alta dependencia de un mantenimiento mucho más regular de lo normal que incluya un calibrado para evitar posibles defectos y pérdidas de precisión que supondrían potenciales pérdidas económicas y un descenso de el nivel de seguridad. Esta eficiencia de la empresa metrológica no puede ser comprometida al operar en muy diversos lugares del globo terráqueo por tanto también es un aspecto clave a considerar. Se ha de considerar que los técnicos especializados no pueden viajar a una fábrica particular, para prestar apoyo in situ cada vez que un error o un problema se presenta debido a dos razones principales:

¹ Es un proyecto con un presupuesto de 23,3 millones de euros que forma parte de los 18 grandes proyectos estratégicos nacionales apoyados por el CDTI dentro de la convocatoria CENIT 2009.

- El coste de enviar un técnico experto a un lugar remoto, si no es obligatoria. De hecho, puede darse el caso que la compañía que da soporte puede no tener disponibles técnicos para viajar a la fábrica del cliente cuando el problema aparece.
- Incluso si hay técnicos disponibles, se necesita tiempo para llegar a la ubicación de la fábrica y solucionar problemas de una máquina de metrología en particular. Todo un día sin actividad de la máquina, es posiblemente más caro y grave para el cliente que los gastos de viaje, ya que toda o parte de la producción diaria puede verse comprometida.

El soporte metrológico a nivel global requiere de una alta capacidad de respuesta. Las principales razones no son sólo la eficiencia y el coste, como se ha comentado anteriormente. A esas razones se debe añadir también la seguridad. Dependiendo de la situación de una máquina potencialmente problemática y los trabajadores que utilizan dicha máquina, puede ser razonable un seguimiento continuo de la actividad de la maquinaria para poder realizar una intervención rápida con el fin de evitar posibles riesgos o peligros para los trabajadores. La metrología remota no se ha desarrollado hasta el momento más que de forma puntual, principalmente por la carencia de sensores de alta precisión y la QoS de las redes de comunicaciones.

Esta tesina estudia la posibilidad de un prototipo de sensorización, gestión, calibración, configuración y mantenimiento para la maquinaria de metrología de manera que facilite el propósito del proyecto FASyS y hacerlo alcanzable. Para ello, dicho sistema deberá permitir la realización de todas estas operaciones de manera remota a través de Internet. Así como mantener, mediante dicha vía, los distintos servicios que puedan ofrecer diferentes autómatas, creando de dicha manera una plataforma para la teleoperación metrológica.

II. Objetivos.

II.1. *Objetivos Principales.*

Los objetivos principales de este trabajo de fin de Máster como parte del proyecto FASyS son:

- El desarrollo de un Web Service para metrología industrial para poder permitir la teleoperación, debido al carácter de seguridad que engloba este proyecto deberá ser acotado en el tiempo.
- La creación de un interfaz específico entre las variables y funciones de un PLC específico y un lenguaje que pueda ser utilizado en el desarrollo de nuevos Web Services.
- La gestión y el registro de las alarmas surgidas en la maquinaria industrial de metrología de manera que se cree un histórico que se servirá a un servidor central que almacene todas las alarmas surgidas en todos los procesos que se lleven a cabo en la planta industrial. Este histórico servirá posteriormente para crear unos protocolos de actuación en cada caso de alarma, en busca de que estos protocolos puedan ser inmediatos, eficientes y en la medida de lo posible se logre una automatización de los procesos a desarrollar.
- La creación de un protocolo ligero de manera que sea manejable por parte del servidor puesto que la conexión a éste se hará mediante una conexión 3G para facilitar la accesibilidad a todas aquellas factorías que tengan un difícil acceso o una red implantada. O por el simple hecho de aislar la intranet de la factoría de los posibles riesgos de un acceso global.
- Estudio ante la posibilidad de incluir un sistema que añada seguridad de autenticación dentro de un entorno federado, como puede ser el protocolo SAML.

II.2. *Objetivos Secundarios.*

Para alcanzar los objetivos principales que se acaban de enumerar es recomendable, cumplir una serie de objetivos que, pese a su carácter general y secundario, facilitarán la consecución del trabajo perseguido por esta tesina.

- Asimilar y comprender todos los pasos del desarrollo de un proyecto completo como puede ser el que engloba esta Tesina. Y particularmente, para el desarrollo de la parte implicada en este trabajo. Por ello es necesario cumplir todos los pasos desde la búsqueda de información, análisis de las necesidades y la especificación de los requisitos. Una vez cumplimentados estos pasos previos deberemos realizar la programación y la validación de los requisitos del proyecto.
- La colaboración con otros grupos de desarrollo enrolados en el desarrollo conjunto del proyecto.
- La realización de una aplicación lo más modular posible para su fácil modificación y ampliación en trabajos futuros.
- La publicación de un artículo como parte de un proyecto de investigación.

III. Trabajo relacionado.

III.1. Trabajo Relacionado.

Para la ingeniería y la industria metrológica, como se ha explicado en la motivación de esta tesina, es altamente interesante el logro de un sistema que logre realizar los distintos aspectos que cubre esta industria de manera remota. Tradicionalmente, la forma de realizar calibraciones era enviar el dispositivo bajo prueba (DUT) a un laboratorio de calibración. En los últimos años la "comunidad internacional metrología" ha comenzado a explorar las posibilidades de seguimiento y control a distancia mediciones y calibraciones a través de Internet. Uno de los primeros aspectos en los que se introdujo el "acceso remoto" dentro de la metrología fue en la calibración.

Y en este aspecto, en los últimos años, se han realizado diversas investigaciones para lograr este propósito. Todo ello, desde que en 1999 un asistente en metrología fuera lanzado por el IMTC [2], este asistente permitía la videoconferencia y la monitorización remota para asistir entre los institutos nacionales de medición y los laboratorios secundarios que realizaban la calibración. No era, por tanto, mas que una asistencia en remoto, pero era un primer paso para alejar el proceso del calibrado y por tanto de cualquier actividad de la metrología de los institutos de medición.

Posteriormente se desarrollo un método más conveniente para los sistemas de calibración y metrología en remoto. Consistía en el envío de los estándares de calibración a través de Internet, a un PC que tendría una conexión física al equipo de metrología. Este modelo de uso es el que se utiliza actualmente en la calibración.

III.2. Arquitecturas Potenciales.

Durante el desarrollo de estos sistemas de metrología en remoto, se han utilizado tres tipos de arquitectura [3].

- Arquitectura 1: LAN A hacia LAN A

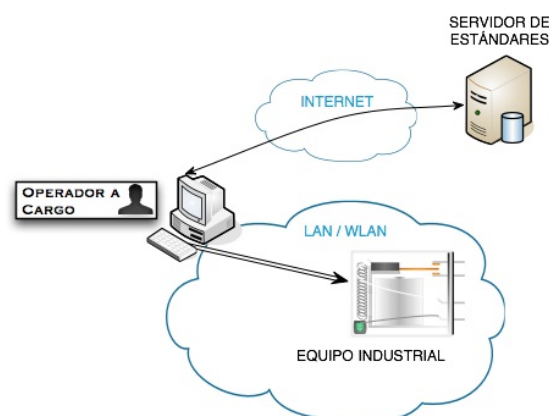


Figura 1.- Arquitectura LAN A – LAN A.

En ella operador e instrumentos se encuentran en la misma LAN. En dicha LAN se encuentra una computadora conectada a la Internet. Las aplicaciones específicas o los estándares de medición se pueden descargar de un servidor público o pueden estar preinstalados en el equipo del instrumento. Algunos sistemas la usan y aunque es una arquitectura bastante robusta para conexiones de red inestables porque la comunicación se hace localmente por lo tanto rápidamente. Sin embargo, esta arquitectura requiere que el operador viaje hasta los instrumentos.

- Arquitectura 2: LAN A hacia SERVIDOR A

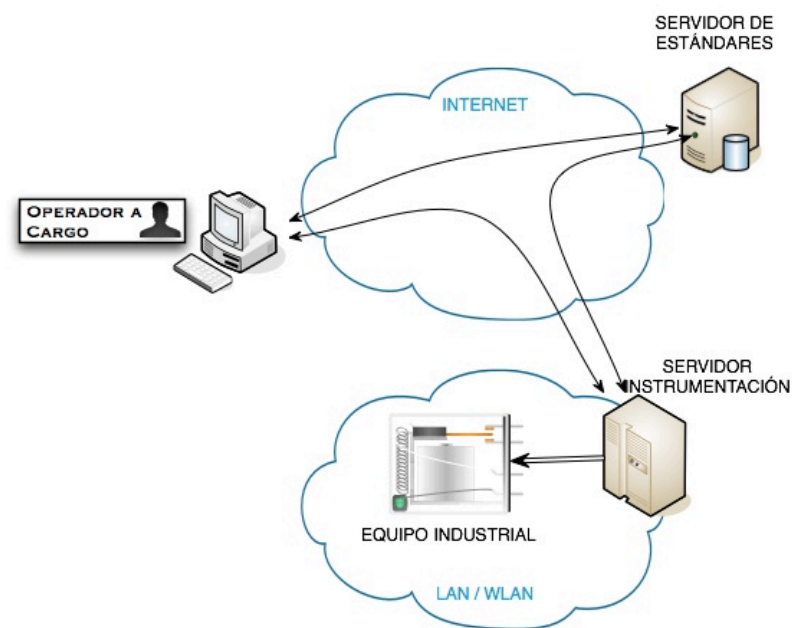


Figura 2.-LAN A - SERVIDOR A.

El operador un equipo situado en una LAN mientras que los instrumentos están conectados a un servidor web público o un ordenador con acceso fácil a un servidor web público. Esta arquitectura es muy útil para la creación de los llamados “laboratorios online” de los que destacan por ejemplo LabView o CISCOLab [12][13].

Proporciona la posibilidad del uso de clientes muy ligeros (a menudo simplemente es necesario un navegador web normal en el lado del cliente). Esta arquitectura proporciona, por tanto, que no sean necesarios muchos requerimientos en el lado del cliente antes de utilizar el sistema. Dado que los instrumentos tienen que estar conectados a un servidor web dedicado, esta arquitectura no es adecuada para el funcionamiento del instrumento en general. Presenta uno de los mayores desafíos para el control del instrumento directo la dependencia del ancho de banda disponible. Es posible añadir al llamado servidor de base de estándares procedimientos de medición, un histórico de datos, carga resultados de la mediciones, alarmas surgidas a lo largo de el tiempo, etc.

- Arquitectura 3: LAN A hacia LAN B

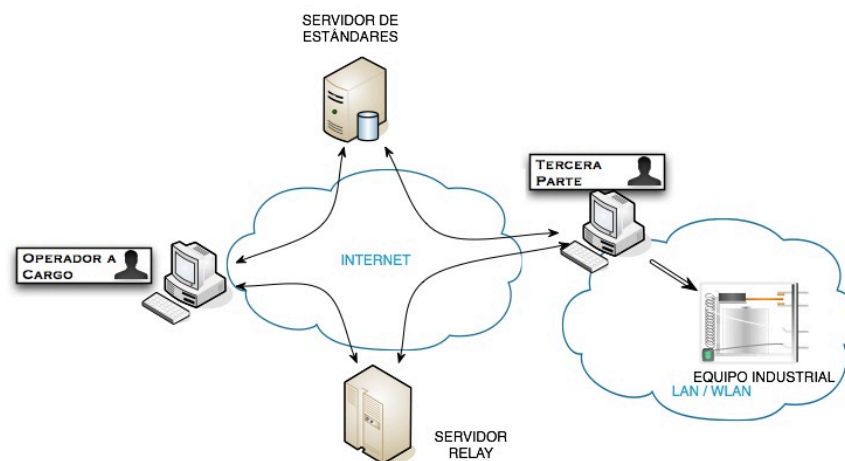


Figura 3.- Arquitectura LAN A - LAN B.

La arquitectura 2 y 3s comparten la característica en que operador e instrumentos se encuentran en diferentes LAN separadas por Internet. Aunque en la arquitectura 3 se añade un nuevo elemento que permite añadir mas seguridad para una zona critica como es la red donde se encuentra el equipo metrológico industrial. Este elemento es un servidor que retransmitirá los mensajes al equipo que tenga conexión con el instrumento, a modo de proxy, actuando así como cortafuegos. Esta arquitectura añadida esta seguridad permitirá el envío de comandos de control de los instrumentos y las mediciones realizadas por éstos podrán ser enviadas al operador a través de este servidor.

Esta arquitectura permite a los usuarios operar de manera remota instrumentos en cualquier lugar, siempre y cuando los instrumentos están conectados a un ordenador conectado a Internet. Por ello se elimina la necesidad de que el operador tenga que viajar allí donde se encuentren los instrumentos para su control, por lo que expertos externos podría participar en el proceso de control. Sin embargo, esta arquitectura puede ser sensible a la inestabilidad de la red, congestiones de tráfico y de la red, ya que a menudo son necesarias conexiones estables y con un constante flujo de datos cuando se hace un control directo de los instrumentos. Por tanto, el control directo de instrumentos depende de la anchura de banda disponible, y la aparición de los tiempos de retardo de tiempo prolongados puede ser un inconveniente para el operador.

La mayoría de los sistemas actuales de medición habilitados para la calibración vía Internet pertenecen a las dos primeras arquitecturas. Aunque estos sistemas suelen encontrarse con el inconveniente de que pocas empresas están interesadas en la apertura de los cortafuegos, o la configuración de servidores proxy o NAT, que permitan el acceso a su red desde Internet para permitir el uso de la metrología.

III.3. *Sistemas Actuales.*

Vamos en este punto a describir dos de los sistemas actuales que fueron desarrollados por dos institutos de metrología, el instituto nacional de Inglaterra (NPL) que desarrollo el iGEN en el año 2006 [4] y el desarrollado por el instituto nacional de Noruega (JV) que desarrollo el iMet en el año 2007. Las características de estas se muestran en la siguiente tabla.

Características	iGEN	iMet	FASyS
<i>Arquitectura</i>	Tipo 1	Tipo 3	Tipo 3
<i>Operador</i>	Local	Remoto	Local / Remoto
<i>Calibración remota</i>	Sí	Sí	Sí
<i>Control remoto</i>	Sí	No	Sí
<i>Web-Based</i>	Sí	No	Sí
<i>Protocolo</i>	Ligero	Pesado	Ligero
<i>Entorno de desarrollo</i>	Difícil	Sencillo	Medio

Dadas estas características, el sistema que se ha propuesto para realizar en el proyecto FASyS fue pensado y concebido para reunir las características en que el cada uno de estos, no se ajusta. Puesto que con lo explicado en los capítulos anteriores, sería necesario un sistema de calibración y control de equipos metrológicos con una arquitectura de tipo 2 o 3, es decir, una arquitectura que permita que el operador se encuentre en remoto y no sea necesario su viaje hasta el equipo a calibrar o controlar.

Por otra parte es interesante para crear los protocolos de actuación automáticos ante posibles alarmas que pudieran surgir debería ser requisito indispensable la posibilidad de control del equipo de forma remota. Por ello, el entorno de desarrollo de estos protocolos debe ser un entorno sencillo, que permita ser alojado en el servidor central de manera contributiva por cada uno de los equipos que forman el proyecto.

El protocolo debe ser ligero y sencillo de manera que permita la utilización de estas herramientas de calibración y control desde casi cualquier dispositivo con conexión a Internet, esto es tablets, smartphones, portátiles. Para ello se pensó un sistema basado en web aunque esto requiriese un interfaz entre el equipo de instrumentación y el servidor web.

El uso de un protocolo sencillo, tanto en número de mensajes como en el ancho de banda que requiriese, podría permitir el uso de una conexión que no tenga un gran ancho de banda. Esto, facilitaría el uso ante clientes que no quisiesen readaptar su red industrial o que se encuentren en zonas poco accesibles para redes de alta velocidad.

IV. Metodología.

Para llevar a cabo esta tesina, se han realizado una serie de pasos previos a la consecución del sistema integro. Partiendo de los drivers y API's de una máquina concreta se realizó una simulación que permite realizar las acciones que llevaran a cabo una máquina metrológica específica. Posteriormente se creó la interfaz para este PLC simulado. La interfaz se realizó con Java, para poder crear después la interfaz del servicio web en JSP. Una vez realizado estas pruebas sobre el PLC simulado, se realizaran sobre una máquina de metrología real, primero en local y después sobre la arquitectura real (Apartado V.1).

IV.1 Simulador PLC.

Esta herramienta se utilizó en la fase de desarrollo del servicio web. Para la realización de este PLC simulado se definieron las acciones a realizar y dos estructuras de datos. La primera estructura de datos es la que se proporciona los datos de entrada y se obtienen los datos de salida. Y la segunda es una estructura de datos para definir los limites fisicos que se le darán vía software, aparte de los que tenga la propia máquina por hardware. Las acciones que llevaría a cabo son cuatro.

- Calibración, se realizará en la puesta a punto de la máquina.
- Trayectoria, movimiento de los motores a un punto en concreto.
- Encendido del modo Continuo. Mover cada uno de los motores de manera individual, análogo a tener un joystick en cada uno de ellos.
- Apagado del modo Continuo.

La estructura de datos que servirá para la lectura y escritura de datos esta definida:

```
TYPE ST_Status :
STRUCT
  (*ALARMAS DE LA MAQUINA*)
  AirAlarm:          BOOL;
  HeaderAlarm:      BOOL;
  EncoderAlarm:     BOOL;
  LimitPosSwAlarm:  ARRAY[0..2]OF BOOL;
  LimitNegSwAlarm:  ARRAY[0..2]OF BOOL;
  LimitPosHwAlarm:  ARRAY[0..2]OF BOOL;
  LimitNegHwAlarm:  ARRAY[0..2]OF BOOL;
  (*ESTADO DE LA MAQUINA*)
  Power:            BOOL;
  Emergency:        BOOL;
  Referenced:       BOOL;
  ActPos:           ARRAY[0..2]OF LREAL;
  ActVel:           ARRAY[0..2]OF LREAL;
  (*ESTADO DEL CONTROL*)
  iState:           UINT;
  Error:            BOOL;
  ErrorID:          UINT;
  AckCmd:           BOOL;
  Busy:             BOOL;
END_STRUCT
END_TYPE
```

IV.2 Interfaz Java-Jsp

Para la realización de la interfaz, se crearon una serie de clases java que interconectaban los diferentes datos que se obtenían del PLC con la implementación del servicio web (Apartado VI.). De todas estas clases cabe destacar la llamada clase PlcTrimek.java que es el núcleo de este interfaz.

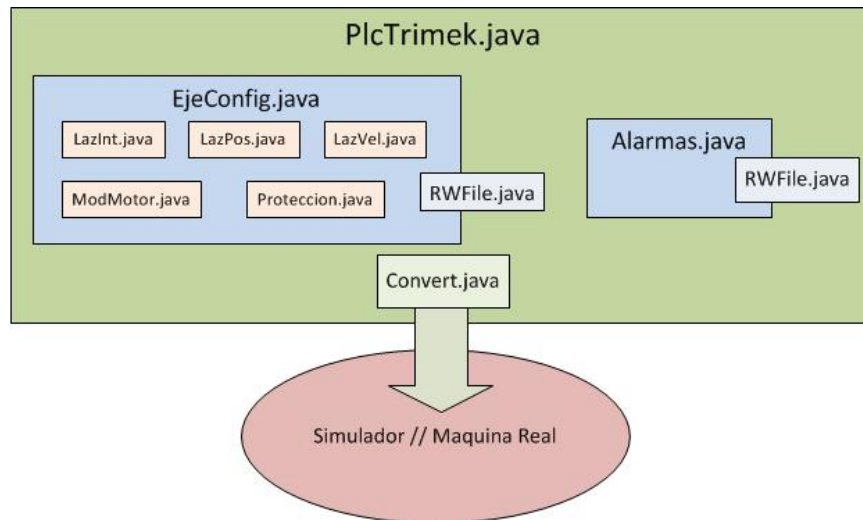


Figura 4.- Esquema clases Interfaz Java.

Esta clase es la que hace la relación con la maquinaria de metrología, tanto la real como lo simulada, a base de lecturas y escrituras en la estructura explicada anteriormente. Dicha clase tiene los métodos que se explican a continuación para conseguir todas las posibles acciones diseñadas para la maquina. Estos métodos son:

- Métodos *getter* y *setter* para mantener el encapsulamiento de la clase en si.
- Método de conexión con el PLC. Establecerá y mantendrá la conexión del servidor web con la máquina industrial para la obtención y escritura de los parámetros y el envío de comandos.
- Método de Obtención de datos. Obtendremos la situación actual de la máquina en general.
- Método de escritura de datos. Este método tiene dos variables:
 - Escritura mediante handler.
 - Escritura a través de nombre de variable.
- Métodos que invocan a la clase java de configuración para establecer u obtener los distintos elementos configurables de la máquina.
- Método de lectura de las diferentes alarmas surgidas en la máquina.
- Método de envío de comandos a ejecutar.
- Método de cierre de la conexión.

V. Arquitectura del Sistema.

V.1 *Arquitectura Física.*

La arquitectura física con la que el sistema está desarrollado tiene una distribución como la que se muestra en la Figura 5. Dicha distribución esta compuesta por una serie de elementos que serán explicados a continuación.

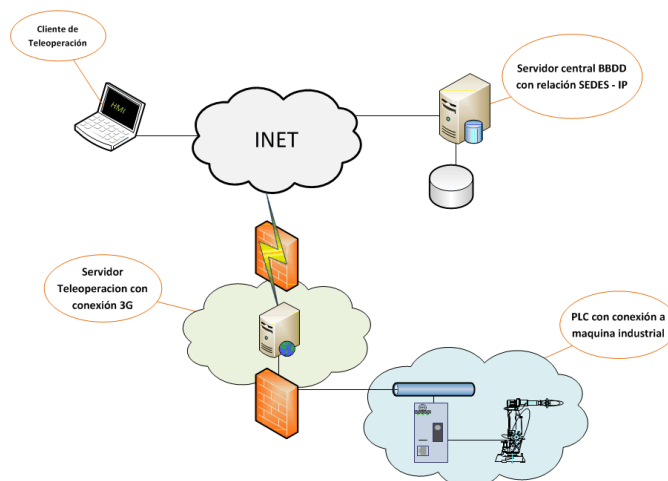


Figura 5.- Arquitectura física del sistema.

- Cliente de Teleoperación.

Con una característica de ubicuidad, puede estar situado en cualquier lugar en el que tenga acceso a Internet y disponga de un navegador web.

- Sede Central de la Industria.

Sede central de la empresa donde se vaya a realizar la teleoperación en cualquiera de sus sedes. En este emplazamiento se encontrará un servidor central con una base de datos de todas las sucursales de la empresa.

Dicha base de datos, mantendrá una sencilla relación de sedes e IP's públicas de acceso a éstas, una relación de estas sedes con máquinas en cada una de las sedes. Incluyendo una serie de parámetros tanto de las máquinas y de los clientes. Como se puede ver en la fig. 6

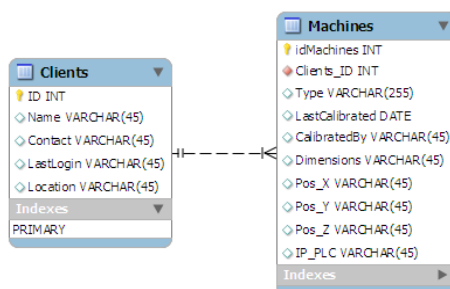


Figura 6.- BBDD Relacional Servidor Central.

- Sucursal de la Industria.

Sucursal que contendrá la máquina industrial específica sobre la que se quiere actuar o a la cual se quiere configurar. Esta sucursal estará compuesta por varios elementos.

- Servidor Teleoperación:

Este servidor mantiene la conectividad con la red mediante una conexión 3G. Interactuará con el PLC para servir las múltiples funcionalidades que se explicaran en la sección 4.

- PLC:

Interactúa con el Servidor Web y con la máquina industrial para realizar acciones de lectura y escritura necesarias para la configuración y las operaciones de la máquina industrial.

V.2 *Arquitectura Lógica.*

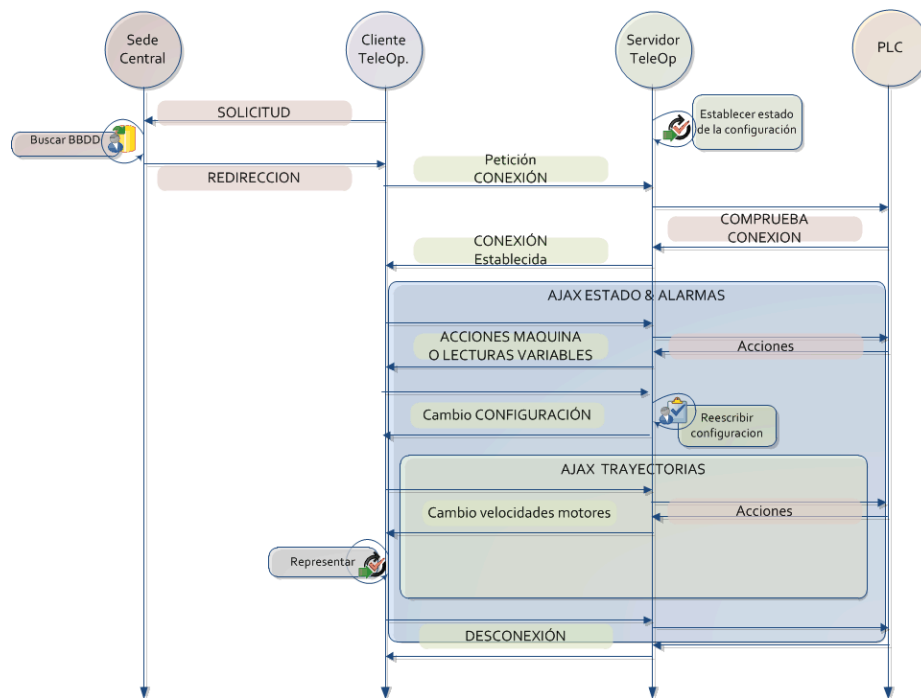


Figura 7.- Arquitectura Lógica.

Desde el punto de vista lógico tendremos cuatro puntos desde los que se realizarán las comunicaciones para cada una de las funcionalidades que se describirán en la sección 4. Estas comunicaciones se dividen en cuatro tipos de comunicaciones.

- Comunicación inicial.

El cliente de teleoperación conecta con el servidor alojado en la sede central. Una vez autenticado, el cliente podrá realizar la selección de cliente y máquina que quiere configurar/operar. O podrá cambiar las especificaciones de cliente o máquina si su perfil de usuario se lo permite.

Una vez el cliente de Teleoperación elige la máquina sobre la que actuar, el servidor central le redireccionará hacia el servidor de Teleoperación situado en la sede elegida.

- Inicio Conexión de Teleoperación

Una vez realizada la redirección el Servidor (remoto) comprobará si existe conexión con la máquina industrial a través del PLC, si ésta existe establecerá la conexión y notificará esta situación al cliente de teleoperación, para que pueda proceder a realizar las diversas acciones posibles.

- Comunicaciones síncronas.

Estas comunicaciones son las que se desarrollan una vez establecida la conexión con la máquina industrial, para la realización de los diferentes métodos de configuración o de actuación sobre ésta.

- Comunicaciones asíncronas.

Las comunicaciones asíncronas se realizan también una vez establecida la conexión, pero en este caso tienen la función de obtención de las diferentes variables del PLC. Estas variables son importantes a la hora de reconocer las posibles alarmas surgidas durante la manipulación de la máquina.

V.3 *Single Sign-On.*

Dado que el sistema se establecerá en un entorno federado entre varias empresas y que los procesos metrológicos y de instrumentación remotos son procesos a los que se puede comprometer la seguridad, es necesario para el uso de estos procesos una autenticación previa, y dado el carácter federativo del proyecto se ha pensado en un entorno de Single Sign-On (SSO). Estas circunstancias son las que definen el marco de actuación del proyecto FASyS, que es donde se implantará dicha aplicación.

Un entorno de SSO permite mejorar y asegurar la interoperabilidad, aumentando la escalabilidad entre los diferentes componentes, módulos y servicios de un sistema, en nuestro caso, una fábrica o un grupo de fábricas vinculadas. Un enfoque común para SSO es el uso de aserción de seguridad Mark-up Language (SAML) [5] [6], especificado por OASIS. Al estar basado en XML, SAML proporciona extensibilidad y flexibilidad suficiente para funcionar perfectamente en un entorno heterogéneo. Por lo tanto, dos compañías en una federación puede compartir identidades y credenciales en la carga útil de un único mensaje SAML, conocido como una afirmación. Esta flexibilidad es una de las piezas clave del estándar SAML, por lo tanto el formato de estas afirmaciones ha sido adoptado en varios protocolos en el Liberty Alliance Project y Project Shibboleth.

Una razón fundamental para la elección de SAML es que no requiere que el proveedor de identidad y proveedor de servicios se encuentren bajo el mismo software o aplicación. De lo

contrario, se crearía una dependencia fuerte que puede afectar gravemente el crecimiento de la federación y por lo tanto su capacidad de escalabilidad.

Otra característica destacada de SAML es que sólo se necesita un navegador web como cliente (agente de usuario). Esto evita la necesidad de desarrollar una función extra o un plugin para la aplicación web. SAML también señala la necesidad de no comprometer la privacidad del usuario o la seguridad y por lo tanto se evita el uso de cookies [7]. Este compromiso recomienda directamente a la utilización de las redirecciones como una manera de pasar parámetros o credenciales entre los diferentes elementos que forman el protocolo del sistema [8]. Estos componentes se representan en la figura 8 y se describen a continuación:

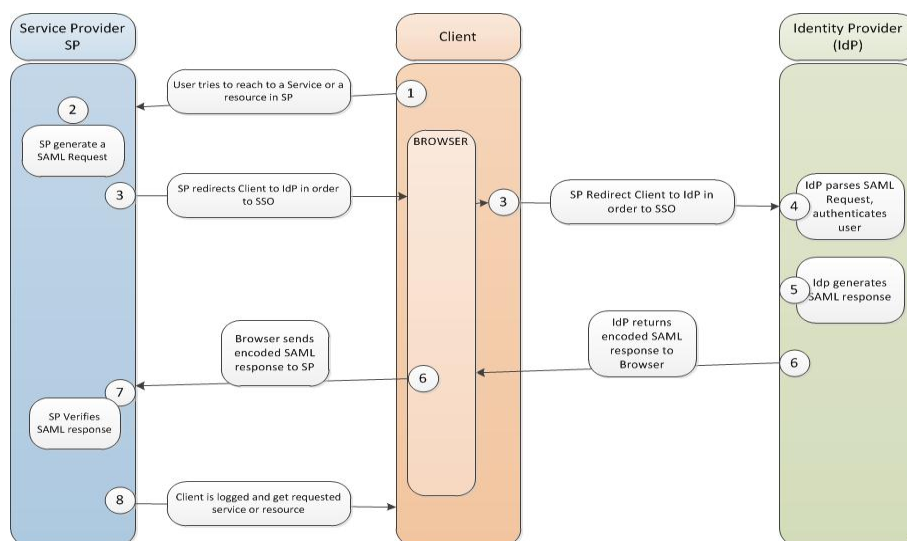


Figura 8.- Protocolo SAML Lógico.

- User Agent (UA).

Este elemento corresponde a la parte del navegador web que ejecuta los pasos de comunicación con los demás elementos, de forma transparente para el usuario y sin comprometer la privacidad. Una vez que el usuario se ha autenticado frente al Identity Provider. El UA puede usar una identity assertion típica de SAML para autenticarse sin problemas contra los diferentes servicios ofrecidos por el mismo proveedor de servicio (o incluso diferentes proveedores de servicios).

- Service Provider (SP).

Entidad que proporciona el servicio que frente a la petición de conexión inicial solicitará la autenticación del UA, y si no tiene un “Identity Assertion” generará el SAML request, y redireccionará al UA hacia el IdP.

- Identity Provider (IdP).

El IdP se encarga de la autenticación de usuarios y la gestión de credenciales de identidad en SAML, y puede utilizar diferentes métodos de autenticación. Si el proceso de autenticación es correcto, el IdP devolverá un “Identity Assertion” al agente de usuario. El UA tiene entonces que (automáticamente) validarlo contra el proveedor de servicios.

Una relación entre esta arquitectura lógica y la arquitectura que tendrá el proyecto FASyS respecto a la autenticación y seguridad en torno a un sistema SSO elegido puede verse en la figura 9.

SimpleSAMLphp es un entorno de desarrollo escrito en PHP que ofrece la infraestructura SSO basada en SAML. SimpleSAMLphp puede funcionar ya sea como IdP o SP. En este último caso (SP configuración) puede ser configurado para trabajar con protocolos de identidad populares: Shibboleth 1.3, Select-A, CAS, OpenID, WS-Federation y OAuth. Como esta desarrollado en PHP, puede funcionar en cualquier plataforma (Linux, Mac OSX y Windows). También al usar PHP es una manera fácil de integrar varios servicios web en una federación, así SimpleSAMLphp se estudió como marco de desarrollo para la construcción de una solución de SSO para los diferentes servicios de federación, también para el servicio del tratado en esta tesina.

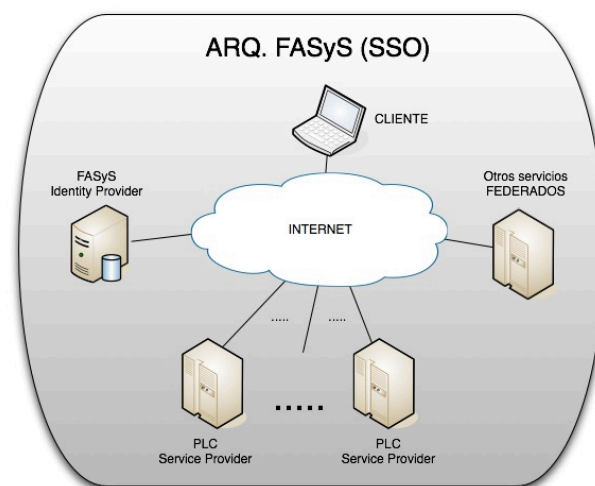


Figura 9.- Arquitectura FASyS punto de vista SSO - simpleSAMLphp.

VI. Implementación.

En el desarrollo de esta implementación y de su servicio web se estableció una serie de pasos y operaciones a poder cumplir, todos estos pasos y sus dependencias se muestran en la figura 10:

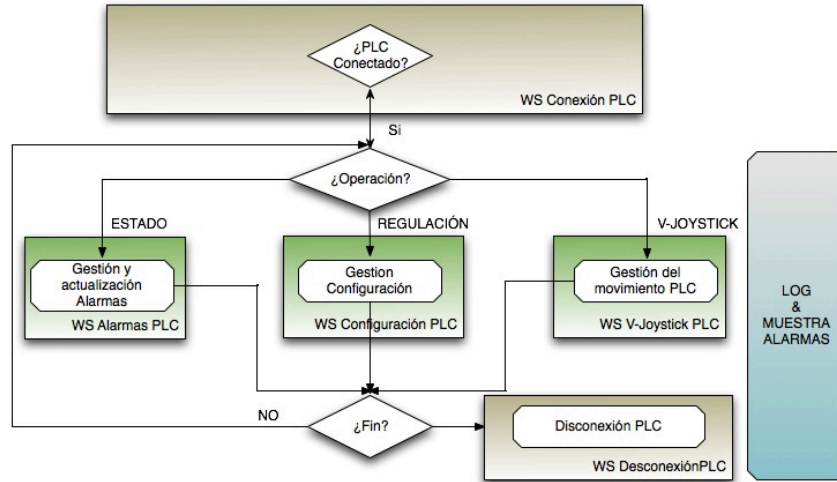


Figura 10.- Diagrama de flujo general de la implementación

En las siguientes subsecciones se explicaran estos cada uno de los componentes de este servicio web.

VI.1 Conexión Inicial.

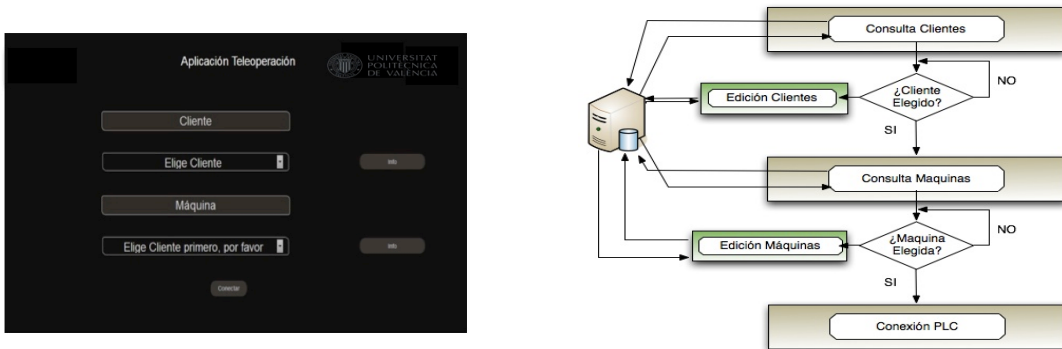


Figura 11.- Pantalla inicial para teleoperación FASYS y su diagrama de flujo

Una vez establecida la conexión con el servidor central, se mostrará una pantalla como la mostrada en la Figura 11 donde se elegirá el cliente y máquina a configurar/actuar. Existe la posibilidad para cada uno de los campos de poder consultar la información, e incluso modificarla, como se observa en las Figuras 12a y 12b. Es importante destacar que la fecha de ultima calibración del editor de la máquina debe tener el formato AAAA-MM-DD.

Figura 12a.- Editor Máquina

Figura 12b.- Editor Cliente

Una vez elegido el cliente y la máquina sobre la que actuar, tendremos que clicar en el botón ‘Conectar’, El servidor hará su consulta MySQL y obtendrá la dirección IP pública que da acceso a dicha máquina, y redireccionará al cliente (navegador) hacia esa dirección. Una vez redireccionado, el servidor remoto alojado en la sede industrial comprobará la conexión con la interfaz del PLC y mostrará la información dependiendo de si existe o no existe conectividad; en caso de que exista se mostrará la pantalla que se muestra en la Figura 13.

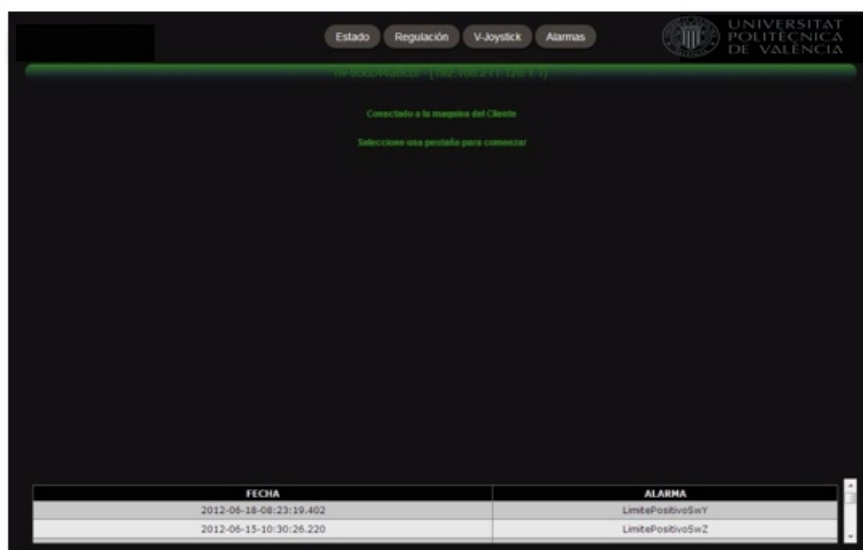


Figura 13.- Inicio Teleoperación.

En la Figura 13, se puede ver que una vez conectado con el servidor de sede remota tendremos una pantalla que se podría dividir en tres partes diferenciadas:

- Menú de Selección.

Situado en la parte superior de la pantalla tendremos cuatro opciones a elegir, éstas son: Estado, Regulación, V-Joystick y Alarmas, las cuales se explicarán en los siguientes subapartados de esta sección.

- Frame Principal.

Inicialmente mostrará el mensaje de éxito en la conexión, posteriormente mostrará la pantalla principal de la opción elegida en el menú superior de selección. A través de este frame se interactuará con la máquina elegida.

- Frame de Alarmas.

Para mantener una accesibilidad rápida y cómoda sobre las posibles alarmas surgidas en la máquina, se mantiene durante la sesión un frame con un histórico de alarmas.

VI.2 Estado.

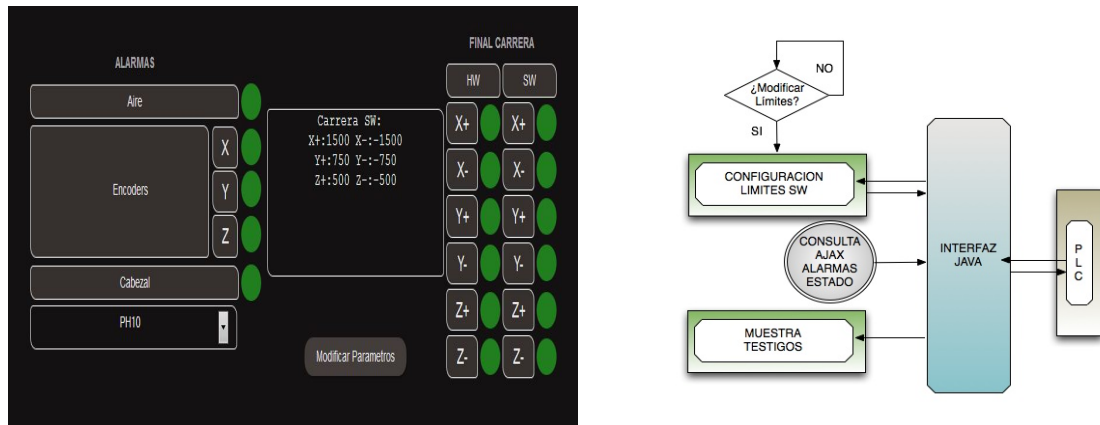


Figura 14.- Estado FASYS y su diagrama de flujo

En la pestaña de Estado, se mostrará el estado actual de la máquina con unos testigos de las posibles alarmas que puedan surgir, actualizados todos ellos en tiempo real, mediante la adquisición de datos asíncrona AJAX que se comentó en secciones previas.



Figura 15a.- Modificar Parámetros

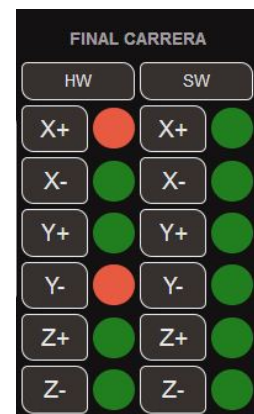


Figura 15b.- Testigos Alarmas HW/SW

Además de esos testigos de alarmas que se muestran en la Figura 15b, tendremos mostrados los límites software de carrera de cada uno de los motores de dicha máquina. Estos límites pueden ser modificados. Esta modificación se realiza interactuando directamente con la interfaz del PLC, es decir, los límites no serán modificados como muchos de los parámetros mediante el archivo de

configuración descrito en la sección 3.2.1 (MachineConfig.txt), sino que se actuará mediante clases java específicas definidas para la API Beckhoff.

VI.3 Regulación.

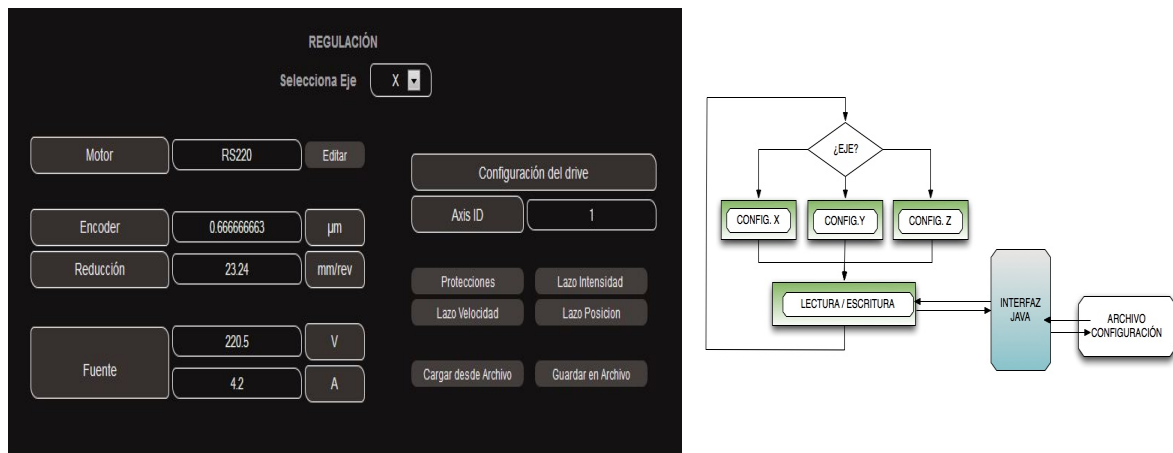


Figura 16.- Regulación FASYS y su diagrama de flujo

En la pestaña de Regulación, se actuará sobre ese archivo de configuración que estará alojado en la raíz del servidor de las sedes industriales (MachineConfig.txt). Como se comentó anteriormente, dicho fichero está dividido en cada uno de los tres ejes, por eso tenemos un selector en el medio de la pantalla para poder seleccionar cada uno de los ejes y así configurar los valores definidos para cada uno de ellos. Para guardar los valores configurados que hayan sido modificados, es necesario que se pulse en el botón de “Guardar Configuración” situado en la parte inferior de la sección, esto es debido a evitar posibles cambios involuntarios por parte del operador.

Uno de las propiedades que se podrán configurar en cada eje, es el motor, que contiene diferentes propiedades configurables. Éstas están mostradas en la Figura 17 donde se muestra la ventana emergente que nos permitirá configurar todas ellas.

Modificar / Añadir Motor (Regulación)		
Motor	RS220	
Intensidad Nominal	63.5	A
Pico de Intensidad	10.5	A
Constante de Par	0.78	Nm/A
Resistencia	5.7	Ohm.
Inductancia	0.0576	H
Inercia del Motor	110	Kgm2 e-7
Ganancia del taco	6	mV/rpm
<input type="button" value="Guardar"/> <input type="button" value="Cerrar"/>		

Figura 17.- Modificar o Añadir motores

Otra de las variables a configurar son las referentes a Lazos y Protecciones del motor. Los lazos establecen propiedades para la posición, la intensidad y la velocidad de los motores, mientras que las protecciones establecen los picos y la duración máxima de éstos para proteger tanto el motor como la máquina industrial. Todas estas características pueden ser modificadas mediante ventanas emergentes que se muestran en las Figuras 18a, 18b, 18c, 18d.

Figura 18a.- Lazo Posición

Figura 18b.- Lazo Intensidad

Figura 18c.- Protecciones

Figura 18d.- Lazo Velocidad

VI.4 V-Joystick.

Las pestañas explicadas anteriormente son aquellas que permiten configurar la máquina industrial y conocer el estado actual de esta, pero la pestaña V-Joystick, es la que nos permite interactuar con la máquina de una forma más directa.

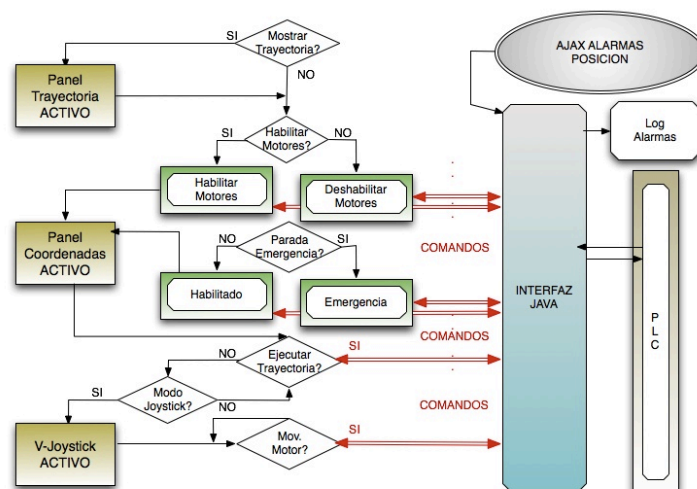


Figura 19.- V-Joystick Diagrama de flujo.

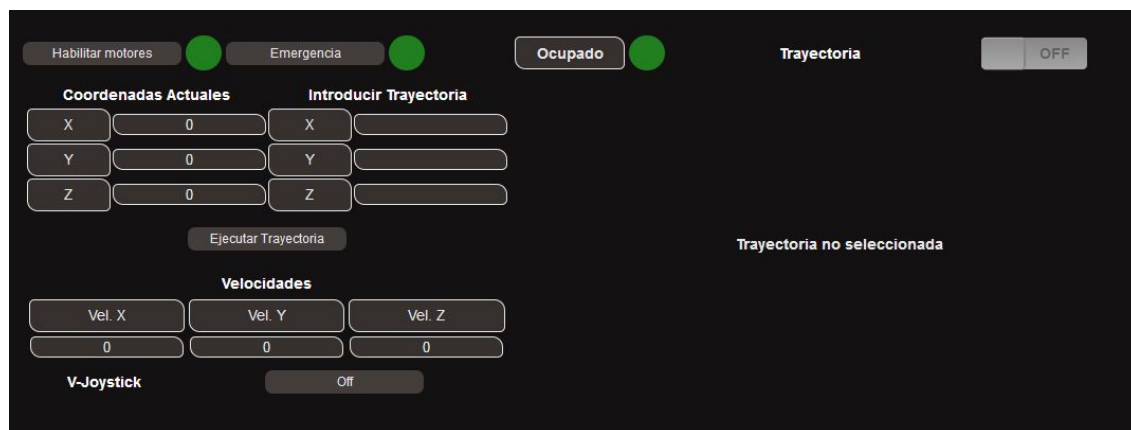


Figura 20.- V-Joystick FASYS

Como se muestra en la Figura 20, la pantalla de V-Joystick tiene diferentes partes, la parte superior de ésta está formada por dos botones junto con sus testigos, un testigo de actividad en el PLC y un botón tipo switch para la función de adquisición de trayectoria. Todo esto se muestra en la Figura 21. Debajo de este panel tenemos dos secciones que dependen de la parte superior. La situada a la izquierda es donde se representan numéricamente la posición actual y las velocidades junto con un V-joystick para mover los motores con diferentes velocidades. En la parte derecha se muestra la trayectoria que están realizando los motores siempre y cuando el switch de trayectoria esté encendido.

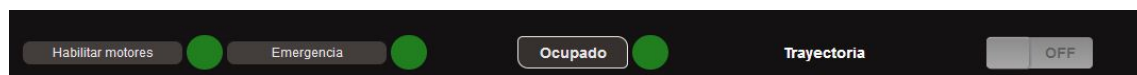


Figura 21.-Parte superior V-Joystick FASYS

Los botones de “Habilitar motores” y “Emergencia” tienen repercusión sobre lo que se muestra en la sección derecha de esta pantalla, puesto que si alguno de los dos está activado, significa que los motores están parados, ya sea por no estar habilitados o por encontrarse en una situación de paro de emergencia. Si los motores se encuentran en alguna de estas dos situaciones, se mostrará mediante un mensaje en esa parte del panel, tal y como se muestra en la Figura 22.

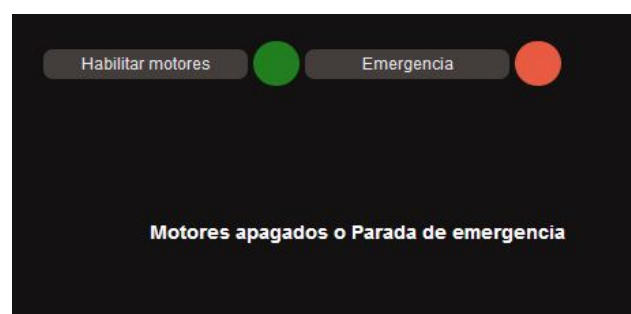


Figura 22.- Parada emergencia o motores deshabilitados

Una vez habilitados los motores podremos actuar sobre ellos de dos maneras. La primera de ellas será estableciendo una trayectoria introduciéndola en las casillas marcadas para cada uno de los ejes. De esta manera una vez se pulse el botón de “Ejecutar trayectoria” la máquina industrial se establecerá en el estado “Ocupado”, no permitiendo la ejecución de ninguna otra función, hasta no terminar dicha trayectoria. Durante el desarrollo de esta trayectoria se mostrará en tiempo real la velocidad alcanzada por cada uno de los ejes y su situación actual. Tal y como se muestra en las Figuras 23a y 23b.



Figura 23a.- Velocidad por eje.



Figura 23b.- Posición actuales vs posición final.

El otro método del que se dispone para actuar sobre los motores es mediante el v-joystick, que se activa con el botón situado debajo de las velocidades. Este botón activa el estado de ocupado del PLC y deshabilita la opción de “ejecutar trayectoria”. En esta opción tendremos un par de botones por eje, que permitirán acelerar y ralentizar cada uno de los motores de manera que estos irán moviéndose dentro de unos rangos. Estos rangos son, [-100, -50, 0, 50, 100] donde 100 es la mayor velocidad en cada eje en su sentido positivo, -100 la mayor velocidad en su sentido negativo y 0 es la ausencia de movimiento en ese eje. A medida que se mueven cada uno de los motores también se muestra la velocidad actual de cada uno de sus motores.

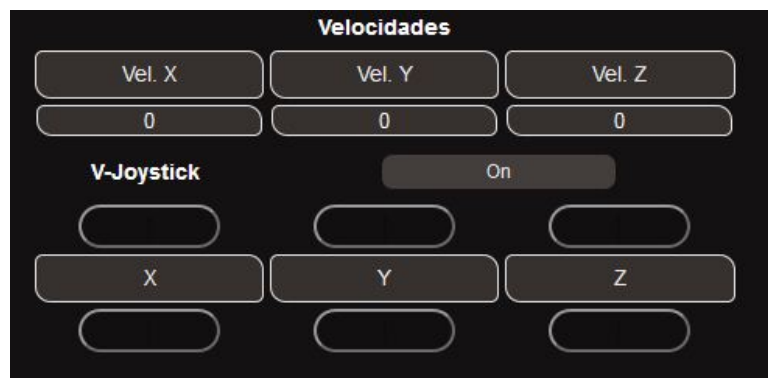


Figura 24- V-Joystick Activo

La tercera parte en la que se divide esta sección de la aplicación de teleoperación es la situada en la parte derecha y, como se ha comentado, se activará cuando en la barra superior se active el switch de trayectoria, de tal manera que se tendrá una representación gráfica del movimiento que se realiza en cada uno de los motores mediante un ploteo de la situación actual en cada momento.



Figura 25- Activación de captura de trayectoria

Cuando los motores estén parados y con la trayectoria activa podrán realizarse cambios en la perspectiva de la trayectoria e incluso podrán obtenerse datos de cada una de las muestras de la trayectoria. También podrá limpiarse la trayectoria siempre y cuando los motores estén parados. Esto se realizará mediante la pulsación del botón “Refresco”.

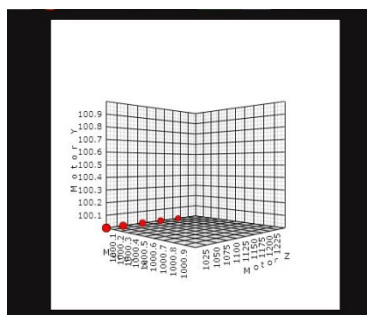


Figura 26a.- Obtención de Trayectoria

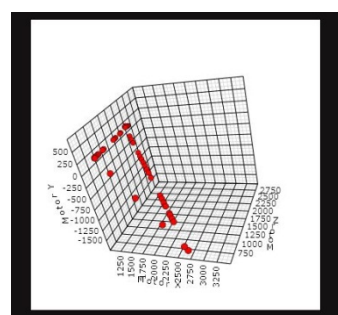


Figura 26b.- Manipulación de perspectiva

VI.5 Alarmas.

FECHA	ALARMA
2012-06-25-15:43:15.143	LimiteNegativoSwY
2012-06-25-15:43:05.953	LimitePositivoSwX
2012-06-25-15:41:13.883	LimitePositivoSwZ
2012-06-25-15:32:33.293	LimiteNegativoHwY
2012-06-25-15:32:32.303	LimitePositivoHwX
2012-06-18-08:23:19.402	LimitePositivoSwY
2012-06-15-10:30:26.220	LimitePositivoSwZ
2012-06-15-10:03:07.160	LimitePositivoSwZ
2012-06-14-15:54:13.190	LimitePositivoSwZ
2012-06-14-15:32:52.570	LimitePositivoSwX
2012-06-14-15:05:03.640	LimitePositivoSwZ
2012-06-13-11:33:46.161	LimitePositivoSwZ
2012-06-13-10:56:52.491	LimitePositivoSwY
2012-06-13-09:15:57.691	EncoderX
2012-06-13-09:15:55.381	LimitePositivoHwX
2012-06-12-12:16:32.721	LimitePositivoSwZ
2012-06-08-12:37:27.339	LimitePositivoSwY
2012-06-08-12:24:37.509	LimitePositivoSwX
2012-06-08-12:01:22.879	LimitePositivoSwZ

Figura 27.- Histórico Alarmas

En la última opción del menú superior, tenemos la pestaña ‘Alarmas’, donde se puede consultar el histórico de alarmas. Dicho histórico de alarmas es el que se obtiene del fichero nombrado en la configuración como LogAlarms.txt. Estas alarmas son generadas por los sensores de la propia máquina de metrología y también generadas el servidor de nuestra aplicación. Se mostrarán en una tabla donde se indican la fecha y hora exacta en que sucedió dicha alarma y la razón por la que la máquina industrial hizo esta entrada en el histórico.

VII. Evaluación.

VII.1 Objetiva.

Se realizó unas pruebas en las que se media el retardo en cada una de las peticiones de actualización de alarmas y de posición actual de los motores de cada uno de los ejes, estas pruebas se realizaron con el servidor con la conexión 3G bajo un entorno hostil, situado en Vitoria-Gasteiz y un cliente situado en Valencia, este cliente bajo una conexión particular WiFi de Ono.

Como se puede apreciar en la figura 28, el retardo es bastante variable, desde pocas decenas de milisegundos hasta poco más de 5 segundos y pese a que la mayoría de las muestras se encuentran debajo de los 300 milisegundos, aquellas que se encuentran por encima de este valor toman tasas demasiado alejadas de valores recomendables para aplicaciones de uso de tiempo real, aunque el acotamiento de tiempo de dicha aplicación sea muy flexible.

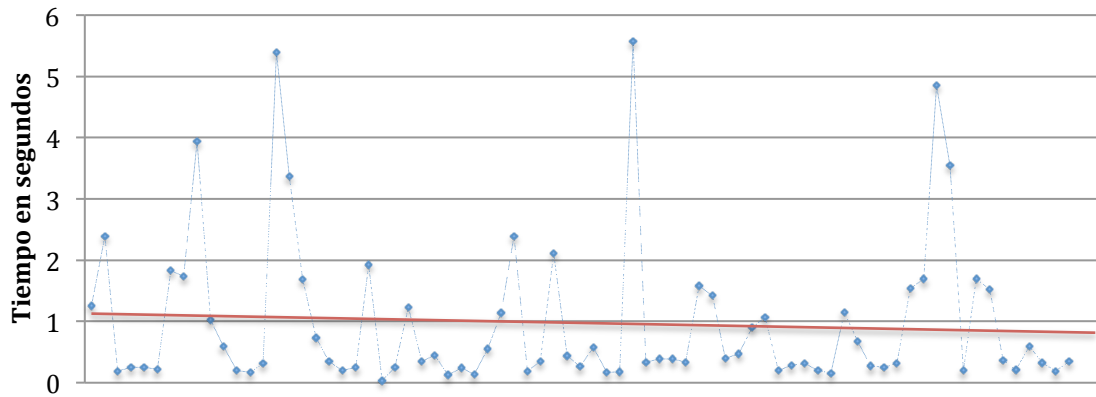


Figura 28.- Retardo - Retardo Medio

Dados estos resultados de retardo, se demuestra que se trata de una conexión en la que el jitter resultante es demasiado alto. Los valores de jitter se muestran en la siguiente figura que demuestra que esta variación es muy pronunciada tanto positiva como negativa.

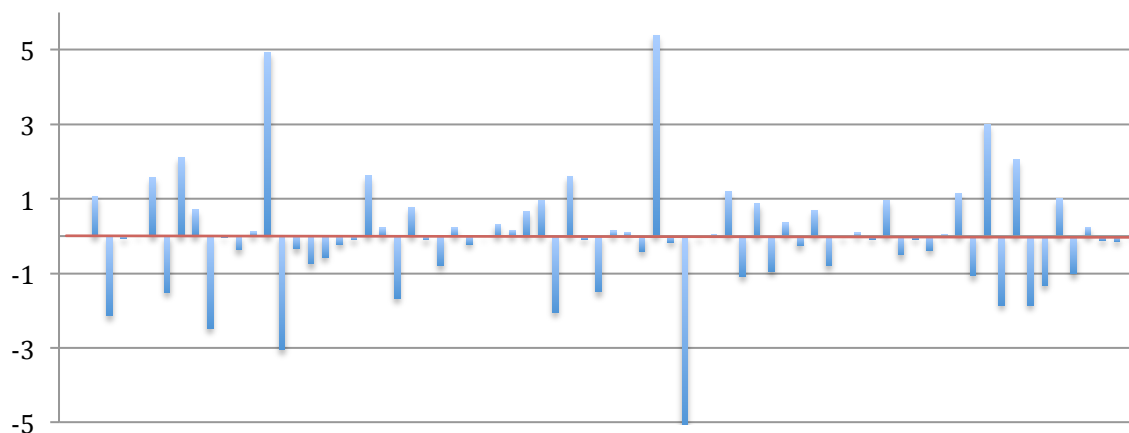


Figura 29.- Jitter

VII.2 Subjetiva.

Para la valoración subjetiva se ha mostrado el sistema a una grupo de personas, todas ellas cualificadas en el ámbito de las telecomunicaciones, pero entre ellas se encontraba personal cualificado o familiarizado con la metrología y personal que desconocía las especificaciones de dicho sistema.

Una vez realizada todas las pruebas necesarias y permitiéndoles a todos ellos actuar con el sistema de manera completamente libre, se les indicó que rellenaran un formulario para recabar de manera anónima su impresión sobre el sistema en si. Este formulario constaba de una serie de preguntas en las que se debía responder entre 0 y 10 dependiendo de su satisfacción con la pregunta realizada. Las preguntas realizadas se dividen en dos grandes aspectos, respecto al interfaz y respecto al retardo de la aplicación en si. Las preguntas realizadas son:

- Interfaz
 - ¿Le resultó un diseño simple y atractivo?
 - ¿Le resulto una interfaz intuitivo y claro para realizar las funciones?
- Funcionamiento.
 - Impresión del retardo en el movimiento de motores (0-Malo 10-Excelente)
 - Impresión sobre retardo en la actualización de alarmas (0-Malo 10-Excelente)
 - Impresión sobre retardo en la actualización de Posición (0-Malo 10-Excelente)
 - Impresión sobre retardo en la configuración (0-Malo 10-Excelente)

Realizados estos simples test se obtuvieron los siguientes resultados:

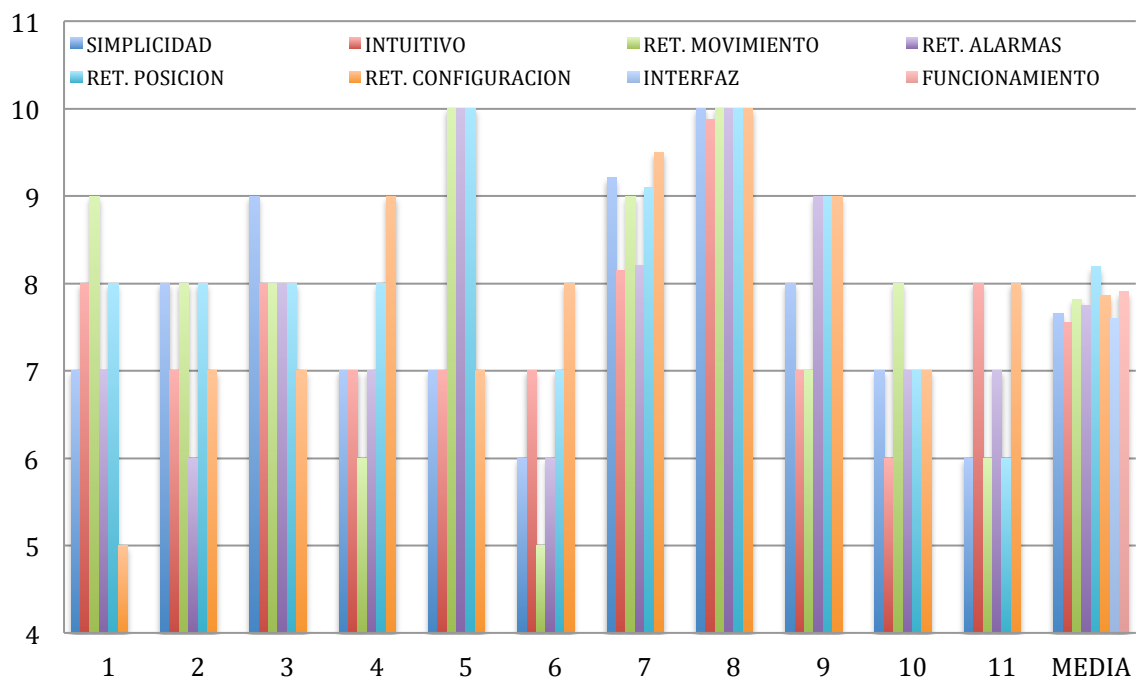


Fig. 30.- Valoración Subjetiva por Persona

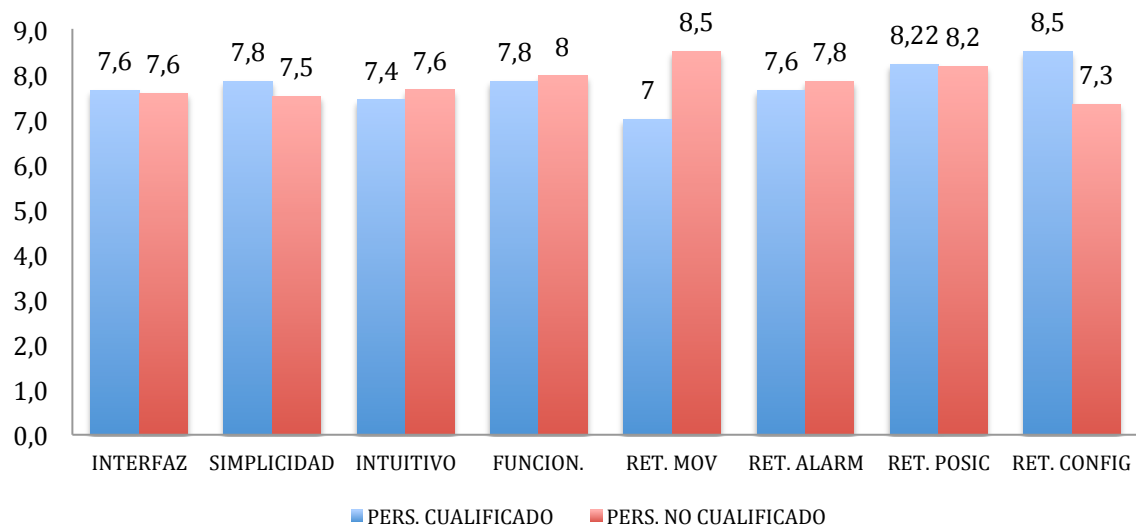


Fig. 31.- Valoración por cualificación.

VIII. Conclusiones y trabajo futuro.

VIII.1 Análisis de resultados.

A la vista de lo obtenido en los resultados de la sección anterior, se debe hacer un análisis conjunto de ambas pruebas, tanto la objetiva como la subjetiva. Si realizamos el análisis basándonos solo en la prueba objetiva, dados los resultados de jitter y retardo, se obtiene que pese a tener una media de retardo relativamente baja, un jitter que perjudica seriamente el funcionamiento de la aplicación. Pero atendiendo a la prueba subjetiva, tanto de personal cualificado como del no cualificado obtenemos una serie de datos interesantes.

De estos datos se puede concluir que tanto para el personal cualificado como para el no cualificado la interfaz del prototipo tiene un diseño simple e intuitivo, dando para ambos grupos un servicio parecido. Respecto al funcionamiento, existen varias diferencias para el personal cualificado con el no cualificado. Esto es, el personal cualificado, considera que el retardo de configuración es positivamente bueno con una media del 8,5, mientras que para el personal no cualificado este retardo es un poco más lento, con un 7,3. Esto puede deberse a la poca familiarización con los protocolos de configuración de una máquina metrológica del segundo grupo.

El segundo dato interesante que sirve para sacar conclusiones debido a la diferenciación entre personal cualificado como del no cualificado es el retardo en movimiento del motor, que para el grupo de los cualificados es un tanto molesto con una media de 7, mientras que el grupo de los no cualificados pone una nota media de 8,5. Una vez más la poca familiarización de este segundo grupo puede ser la razón para la no observación del efecto del jitter en este movimiento.

VIII.2 Revisión de objetivos.

Para la revisión de objetivos analizaremos los objetivos principales de este trabajo estos son:

1. *Desarrollo de un servicio web para un sistema de metrología.*

Este objetivo ha sido logrado con la realización del prototipo explicado en la sección V, VI.

2. *Creación de un interfaz específico entre un PLC concreto y el servicio web en aras de conseguir una implementación específica para una industria metrológica.*

Dicho interfaz fue desarrollado y explicado en la sección IV.2

3. *Gestión y registro de Alarmas del sistema metrológico.*

La gestión de Alarmas es uno de las secciones explicadas sobre el desarrollo de nuestro servicio web.

4. *Creación de un protocolo ligero soportable en una conexión 3G.*

El protocolo es ligero es soportado en la medida de lo posible por la conexión 3G.

5. *Estudio de la posibilidad de un entorno SSO.*

Explicado en la sección V.3

VIII.3 Trabajo Futuro.

Aumentando la funcionalidad del prototipo de servicio web desarrollado durante este trabajo se debería añadir una serie de propiedades a éste. Primero de todo debería ser incorporado un servidor central de alarmas, con protocolos de actuación ante tales alarmas, aunque en el desarrollo del prototipo esta establecido un servidor central, las alarmas y los protocolos de actuación no están incorporados a él. Este servidor debería, también incorporar la gestión de sensores que se desarrolla en el proyecto FASyS de manera que este servidor sea el punto central de gestión de alarmas tanto de máquinas industriales como de sensores, y poder generar así unos mejores protocolos de actuación.

Se debería añadir también protocolos de criptografía para añadir mas seguridad y ampliar así la seguridad en la gestión remota metrológica. Estos protocolos criptográficos deben ser estudiados minuciosamente para no perjudicar en demasía la conexión 3G como comentamos.

Y por último, se debe estudiar la manera de mejorar el jitter que se produce, que puede afectar al propósito principal de este prototipo, que no es otro que la seguridad y la salubridad de una fábrica, este debe ser el punto de partida de futuros trabajos. Una vez solucionado este punto, se debe partir la realización de todos los demás puntos a mejorar.

IX. AGRADECIMIENTOS.

Quisiera dar las gracias al proyecto FASyS (CENIT 2009-1034) por apoyar esta investigación. También debo agradecer a la empresa Trimek que proporcionó el acceso y la investigación sobre su maquinaria industrial facilitando así cualquier estudio que se realizase en el campo que ocupa este trabajo. No debo olvidarme de agradecer al proyecto Freight4All que me apoyo. Y por último agradecer a mi tutor, Carlos E. Palau y mi compañero de laboratorio Benjamín Molina que me apoyó en todo momento para sacar adelante este trabajo.

X. REFERENCIAS.

- [1] Proyecto FASyS Fasys project website. <http://www.fasys.es>
- [2] R.A. Dudley, N.M. Ridler, Traceability via the Internet for microwaves measurements using vector network analyzers, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* Vol. 52, p. 130-134, 2003.
- [3] Fang Tianchi, *Review of Tele-Calibration Technology*, Applied Mechanics and Materials, Vol 128 p. 261-264, 2012.
- [4] A. Sand, M. Stevens, and G. Parkin, *Internet-enabled calibration: An analysis of different topologies and a comparison of two different approaches*, *IEEE Trans. Instrum. Meas.* Vol 56 p. 1986-1991, 2007.
- [5] Madsen, P. and E. Maler, *SAML V2.0 Executive Overview*, OASIS SSTC Committee Draft sstc-saml-exec-overview-2.0-cd-01, April 2005.
- [6] Hughes, J. and E. Maler, *Security Assertion Markup Language (SAML) V2.0 Technical Overview*, OASIS SSTC Working Draft sstc-saml-tech-overview-2.0-draft-08, September 2005.
- [7] D. P. Kormann and A. D. Rubin, *Risks of the passport single sign on protocol*. *Computer Networks*, 33:51–58, 2000.
- [8] M.A. Peraldi and J.D. Decotignie, *Distributing PLC Control*, Swiss Federal Institute of Technology, Lausanne Computer Engineering Department EPFL-DI-LIT
- [9] M. Jurcevic, *Generic System for Remote Testing and Calibration of Measuring Instruments*, University of Zagreb, *Measurement Science Review*, Volume 10, No. 2, 2009
- [10] M. Jurcevic, *Internet-enabled calibration services: aspects of laboratory information system security*.
- [11] Zhixiang Hou, *Review of the Tele-Calibration Technology*, *Applied Mechanics and Materials*, 128-129, 261, Oct. 2011
- [12] National Instruments LabView, website: <http://www.ni.com/labview/>
- [13] CISCOlab, website: <http://www.myciscolab.com/>
- [14] S. Kolberg and T. A. Fjeldly, *Internet Laboratory with Web Services Accessibility*, in Proc. 2nd Int. Conf. on Multimedia ICTs in Education, vol. 3, 2003, pp. 1700–1704.
- [15] H. Shen, Z. Xu, *Conducting Laboratory Experiments over the Internet*, *IEEE Transactions on Education*, vol. 42, no. 3, pp. 180–185, 1999.