



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

---

## **Gestión de datos de Termografía Superficial Aérea utilizando técnicas de Realidad Aumentada en la Subestación Blindada y Aislada a Gas SF<sub>6</sub> de la Itaipu Binacional**

**Ruth Pavón, Adrián E. Osorio P., Eleceu Barz, Laura Palacio**

**Itaipu Binacional, FPTI-PY**

**Paraguay, Brasil**

### **RESUMEN**

Como parte del Mantenimiento Predictivo de la Subestación Blindada y Aislada a Gas SF<sub>6</sub> (GIS) de la Itaipu Binacional, surge la necesidad de obtener una mejor aproximación técnica del comportamiento y evolución de hot-spots dentro de la instalación y basados en la experiencia, elaborar una Instrucción de Mantenimiento adaptada a lo largo del tiempo. Para conseguir este objetivo, se realizaron ensayos en la GIS que dieron origen a un Informe Técnico de referencia para esta instrucción con base en las mediciones termográficas que revisten carácter periódico.

Son relevadas necesidades en dos aspectos, uno de ellos relacionado a la falta de identificación plena de todos los tipos de compartimientos de la GIS debido a la necesidad de asociar la imagen termográfica a un determinado compartimiento. El otro es ubicar aquellos compartimientos que presentaron alguna medición de relevancia en las últimas mediciones. El análisis evolutivo de hot-spots demanda tiempo de análisis basado en documentos textuales y sin una visión global del sistema.

El objetivo principal de este trabajo es el de optimizar la gestión y el control de la evolución de los hot-spots registrados en la subestación por el Mantenimiento, se propone utilizar técnicas de Realidad Aumentada con gestión informatizada, para brindar una herramienta útil para alcanzar este objetivo.

La aplicación desarrollada en este trabajo primeramente trata del registro de las variables, tales como: temperatura, tensión, corriente y potencia, obtenidas a través del SIRI (Sistema Integrado de Redes Industriales) y adicionadas junto a las mediciones realizadas con la cámara termográfica. Seguidamente, el usuario debe completar criterios de posicionamiento del compartimiento analizado, generar un marcador con características de dicha nomenclatura. En la secuencia, el usuario imprimirá este marcador y colocará en la posición en donde se haya detectado el hot-spot, y de esa forma sucesivamente para los demás hot-spots detectados. El usuario utilizará una tableta PC, para visualizar los hot-spots ya registrados anteriormente, que por medio de técnicas de Realidad Aumentada, capturará imágenes de marcadores de los hot-spots. La gestión informatizada traerá el comportamiento de todos estos puntos de forma a mantener un histórico de toda la instalación, obteniendo una visión global para el análisis por parte de la Ingeniería de Mantenimiento Eléctrico.

### **PALABRAS CLAVES**

Realidad Aumentada, Subestación Blindada y Aislada a Gas SF<sub>6</sub>, Hot-Spots, Termograma, Termografía Superficial.



## 1. VISION GLOBAL DE LA DEMANDA

Para componer la plataforma de Mantenimiento Predictivo de la Subestación Blindada y Aislada a Gas SF<sub>6</sub> de la Itaipu Binacional, surge la necesidad de obtener una mejor aproximación técnica del comportamiento y evolución de hot-spots dentro de la instalación, y basados en esta premisa elaborar una Instrucción de Mantenimiento de acuerdo con esas experiencias realizadas. A partir de ensayos realizados fue emitido un Informe Técnico de referencia con base en las mediciones termográficas generando un documento de orientación a las actividades en este sector y relativo al comportamiento de los hot-spots.

El objetivo principal de este trabajo es el de optimizar la gestión y el control de los hot-spots registrados por el Mantenimiento, haciendo uso de la Realidad Aumentada, se propone el uso de una herramienta basada en esta tecnología de forma a dar soporte a las actividades del mantenimiento de la GIS y auxiliar de esa forma en estas tareas.

De manera a alcanzar el objetivo de este trabajo fueron levantadas dos problemáticas existentes en la GIS. La primera consiste en la dificultad de asociar un hot-spot a un compartimiento determinado de la subestación durante el proceso de registro de hot-spots debido a la carencia de una nomenclatura para identificar a todos los compartimientos, siendo que antes no había esta necesidad. La segunda problemática es la descentralización de los datos, ya que los apuntes de los especialistas se encuentran en manuscritos y eso dificulta la tarea de realizar un análisis y generar informes posteriores, teniendo en cuenta para el caso de estudio apenas una parte de la subestación.

Por otro lado, se propone la utilización de un software para dar soporte a los especialistas, que permita la obtención futura de un histórico sobre el comportamiento de dichos puntos envolviendo toda la instalación. Cabe destacar que los datos de la empresa presentados en este trabajo, son valores ficticios, de manera a mantener la confidencialidad de la información de la empresa.

## 2. SUBESTACION BLINDADA Y AISLADA A GAS SF<sub>6</sub>

### 2.1 Actual flujo de trabajo en el Mantenimiento Ejecutivo

Actualmente, en la Subestación Blindada y Aislada a Gas SF<sub>6</sub> de la Itaipu, las mediciones termográficas son realizadas con una periodicidad de tres meses, con el objetivo de obtener el registro de hot-spots y de realizar un acompañamiento en la evolución de dichos puntos, para posteriormente emitir una SSA (Solicitud de Servicio Aperiódico) de acuerdo a su severidad y basado en un Tabla de Criticidad con su correspondiente acción requerida.

La principal problemática encontrada consiste en que no todos los compartimientos poseen una nomenclatura de identificación, solamente aquellos asociados a algún equipo de la instalación más próximo; por lo tanto se dificulta el hecho de asociar el registro de hot-spots a determinados locales de compartimientos fuentes de posibles puntos calientes, y dificulta además para la siguiente inspección periódica ubicar aquellos compartimientos que presentaron alguna medición de relevancia en la medición anterior para acompañar su evolución. Por otro lado, el análisis del comportamiento de los hot-spots es una tarea que consume tiempo, debido a

que los registros se encuentran primeramente en documentos textuales y posteriormente en el sistema informatizado SOM, no existiendo actualmente una herramienta más flexible que facilite esta tarea para la Ingeniería de Mantenimiento con enfoque global.

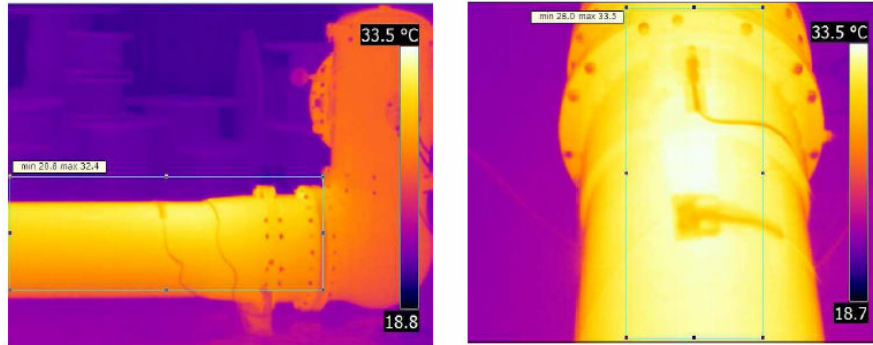


Figura 1: Imagen de termografía superficial obtenida por la cámara termográfica con una fuente conocida y de potencia interna disipada de 1025W (Posición Horizontal)

A través de ensayos que se han realizado dentro de la subestación, se ha elevado un Informe Técnico por parte de la Ingeniería de Mantenimiento Eléctrico a la SM.DT, denominado de “**Ensayo de Referencia para Mediciones de Temperatura utilizando Termografía en la Mini GIS**” [1], siendo el objetivo principal de estos ensayos la de realizar simulaciones para poder relacionar los diferentes parámetros envueltos en el proceso de la termografía. Como resultado de este trabajo experimental se ha obtenido un cuadro demostrativo inicial con los respectivos Niveles de Criticidad (ver detalles en [1]) de acuerdo a las mediciones de temperatura obtenidas por termografía superficial aplicable a toda la instalación. Este cuadro fue tomado en cuenta para el diseño posterior de la aplicación a desarrollar.

El objetivo de las mediciones termográficas es el de realizar el mapeo de los posibles hot-spots, indeseables para el buen funcionamiento de toda la instalación. Otra finalidad de esta tarea es la de registrar los locales de los posibles hot-spots, de manera a generar un histórico correspondiente y accionar de acuerdo a la severidad de cada caso.

La inspección termográfica periódica es de carácter predictivo para verificación y acompañamiento evolutivo de hot-spots en los compartimientos de la subestación que incluyen los vanos de salida de las líneas en la cota 144, efectuando un mapeo superficial aéreo (no invasivo) con la utilización de una cámara termográfica, perteneciente a la división de Mantenimiento de Equipos de Transmisión, en condiciones normales de tensión y corriente de operación, y para ambas frecuencias de 50/60 Hz.

## 2.2 Hot-spots en la instalación

Los equipos de la Subestación Blindada y Aislada a Gas SF<sub>6</sub>, considerado principal nexo entre la generación y la transmisión de energía eléctrica, deben estar disponibles para trabajar en un régimen constante de 24 horas x 7 días durante el periodo comprendido entre mantenimientos periódicos, y sin considerar las indisponibilidades forzadas, de forma a cumplir cabalmente su función.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

Los materiales envueltos en este proceso, asociados al uso constante y la vida útil esperada, pueden eventualmente presentar una característica anormal que redunde en un aumento de su resistencia al paso de la corriente por la cuál circula, y por consecuencia en aumento de su temperatura interna, y convirtiéndose de esa forma en un hot-spot. Estos puntos calientes, o hot-spots, pueden a mediano y/o a largo plazo convertirse en una fuente de descargas parciales, o eventualmente en una descarga total (flash-over) causadas por el derretimiento del material conductor por sobretensión. Por este motivo, como medida preventiva, la medición de estos puntos se torna necesaria para tratar de evitar llegar hasta este tipo de contingencia no deseada.

### 3. REALIDAD AUMENTADA

En el año 1968 cuando Ivan Sutherland utilizó un dispositivo de despliegue de imágenes tridimensionales de tipo casco, para visualizar gráficos tridimensionales, fue considerado como el primer sistema de Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA) [2]. Sin embargo su desarrollo y progreso ha comenzado a darse hace aproximadamente unos 20 años con la madurez en hardware y software que facilitan su utilización.

Existen dos definiciones aceptadas sobre la Realidad Aumentada; una fue otorgada por Ronald Azuma (1997), en donde dice que la Realidad Aumentada: combina lo real y lo virtual, es interactiva en tiempo real y es registrada en 3D [3]. Por otro lado, Paul Milgram y Fumio Kishino (1994) definen *Milgram's Reality-Virtuality Continuum*, que es la virtualidad continua entre lo real y lo virtual, es decir, la Realidad Aumentada se encuentra en medio de lo real y lo virtual, por lo tanto se hace referencia de una realidad mixta.

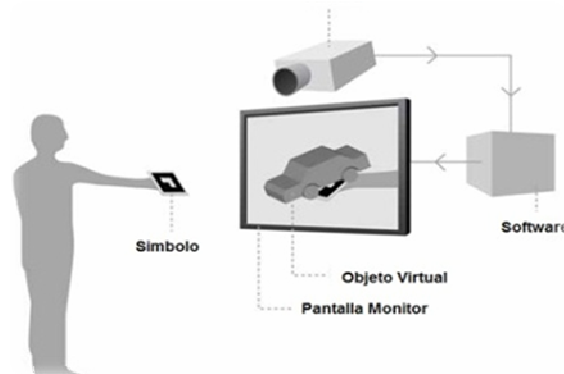


Figura 2: Funcionamiento de la Realidad Aumentada.

#### 3.1 Funcionamiento de la técnica de Realidad Aumentada

Para lograr el proceso de interacción, se requieren de gráficos en tiempo real, rasgos geométricos del entorno, es necesario prever de forma anticipada los marcadores (denominados patterns). Básicamente esto significa tener previamente una base de datos preparada para el reconocimiento de dichos patrones; de esta forma se estaría minimizando muchos cálculos de posicionamiento para la interacción.

La síntesis de imágenes en su posición y perspectiva correctas, se logra extrayendo información tridimensional de las imágenes de video de manera a que exista una alineación y

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

correspondencia directa entre ambos mundos (el real y el virtual). Luego del reconocimiento de las marcas o del objeto a partir del cual se inicia la RA, se establecen una serie de transformaciones (vía software) al objeto virtual, así como parámetros de la cámara virtual y la iluminación para finalmente componer la señal de video de salida; la cual es la fusión de la señal de video original con la señal de la escena virtual.

Por último, esta señal que contiene una reconstrucción visual (sonora y cualquier otra señal registrada o sintetizada) de la escena objetivo de la aplicación, es dirigida al sistema visual humano. Si el sistema genera una perspectiva única para ambos ojos, el usuario verá una imagen bidimensional (mono); mientras que para ver en tercera dimensión (estereografía) es necesario generar un par de imágenes, cada una con la perspectiva correspondiente a cada ojo y solo dejar ver a cada ojo su imagen correspondiente. Lo que ve el usuario es una interpretación producto de un proceso neuro-psicológico [4].

#### 4. LA REALIDAD AUMENTADA EN LA GESTION DE HOT-SPOTS DE LA GIS DE ITAIPU

##### 4.1 Descripción general de la solución

El alcance del proyecto es desarrollar una aplicación utilizando técnicas de RA que permita el registro de los hot-spots que son detectados por medio de una cámara termográfica y por medio de la aplicación de diferenciales de temperatura, tomando como referencia la temperatura del compartimiento adyacente en igualdad de condiciones. De esta manera se insume con informaciones a la plataforma de Mantenimiento Predictivo de dicha subestación y se realiza el análisis de una forma más dinámica.

Primeramente se ha realizado un trabajo de análisis de la distribución de los compartimientos de la GIS con el objetivo de crear una nomenclatura, donde cada compartimiento seleccionado para la termografía se denominaría “Segmento”. A cada uno de estos segmentos se le asigna un marcador, el cuál lleva el texto del segmento que le corresponde.

Posterior al análisis citado, se realizó un diseño tridimensional de una de las secciones de la GIS, específicamente el correspondiente a la Línea L5 del sector de 60 Hz. Posteriormente se desarrolló un aplicativo denominado Gis-AR, el cual está dividido en módulos, que serán detallados en este capítulo.

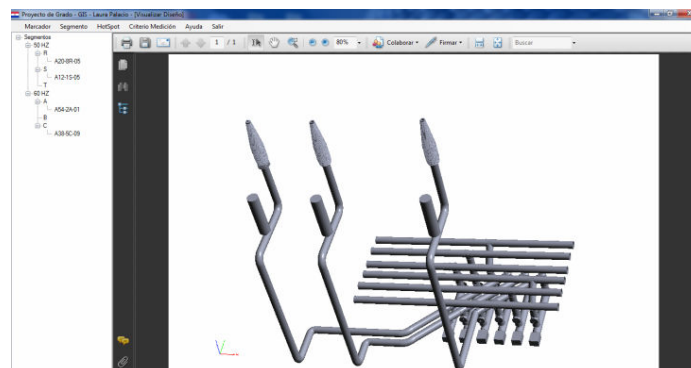


Figura 3: Interfaz principal del aplicativo que contiene el diseño 3D de una sección de la GIS.



X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

El proceso para utilizar los datos termográficos utilizando la aplicación desarrollada en este trabajo como soporte del Mantenimiento Predictivo de la GIS, sigue el mismo procedimiento detallado en el capítulo anterior; a diferencia que con este aplicativo se registran las mediciones a través del sistema y la información es almacenada en una base de datos.

En el primer ciclo de inspección, y a través de la aplicación desarrollada en este trabajo, se registran variables como la temperatura termográfica en [°C], y la tensión [V], corriente [A] y potencia [W], obtenidas del Sistema Integrado de Redes Industriales (SIRI). Seguidamente, la aplicación solicitará al usuario completar ciertos criterios de posicionamiento del compartimiento analizado en cuestión, para luego generar un cierto marcador (denominado también de “landmark” con las características de dicha nomenclatura. Luego, el usuario imprimirá dicho marcador y colocará en la posición en donde se haya detectado el hot-spot (y así sucesivamente para los demás hot-spots detectados). Una vez concluido el primer ciclo periódico de inspección, en el ciclo subsiguiente el usuario utilizará una tableta PC, y podrá visualizar los hot-spots registrados en el primer ciclo por medio de la realidad aumentada, capturando imágenes de los marcadores en donde estos hot-spots hayan sido detectados, y así sucesivamente.

La información que será visualizada representa los datos obtenidos de la última medición junto con una imagen capturada de la cámara termográfica, adicionadas de las informaciones cargadas en el sistema y comparar con la actual para saber si ha evolucionado o no con relación a la última medición, y tomar las acciones conforme la severidad.

#### 4.2 Arquitectura Global

La arquitectura global proporciona una visión general de cómo está construido el aplicativo, que módulos lo conforman y como se encuentran organizados dichos módulos. El software Gis-AR es un aplicativo que utiliza el patrón de diseño Model-View-Controller (MVC), que separa el acceso a los datos, la lógica de negocio y la presentación e interacción con el usuario [5]. Abajo se describen estos módulos.

- **Model:** El modelo encapsula la representación de los datos y la lógica del negocio, maneja las reglas de cómo actualizar los datos, previendo de esta manera las funcionalidades del sistema.
- **View:** La vista es la encargada de presentar los datos del modelo al usuario y permite la interacción con el usuario.
- **Controller:** El controlador define el comportamiento de la aplicación, dada una acción del usuario determina la vista que debe ser mostrada.

#### 4.3 Módulos del Aplicativo

Los módulos del aplicativo se refieren a las parte de análisis que atienden a las necesidades del Mantenimiento, y está compuesta por los siguientes módulos:

- **Módulo de Registro y Consulta de Marcadores** Permite el registro, edición y eliminación de un marcador, así como también la consulta de los marcadores disponibles y los que ya han sido utilizados para algún segmento.

X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

- **Módulo de Registro y Consulta de Segmentos** Permite el registro, edición y eliminación de un segmento, así como también la consulta de los segmentos. Durante el registro de un segmento, un marcador es asignado al mismo.

Para la definición de la nomenclatura se ha partido de las siguientes premisas:

- La frecuencia de 50 Hz posee fases R, S y T, la de 60 Hz, posee fases A, B y C.
- Los tableros de control que van de A01 hasta A27 son para la instalación de 50 Hz, y de A31 hasta A57 para la frecuencia de 60 Hz.

Por lo tanto, la nomenclatura contiene el nombre del tablero asociado, el código del compartimiento al cual pertenece junto con la fase y un número de orden el cual no supera la extensión de dos dígitos, cada una de estas partes van separadas por el símbolo (-) entre ellas, y el código es generado de manera automática al completar los campos de registro del segmento. Ej: A35-4A-01.

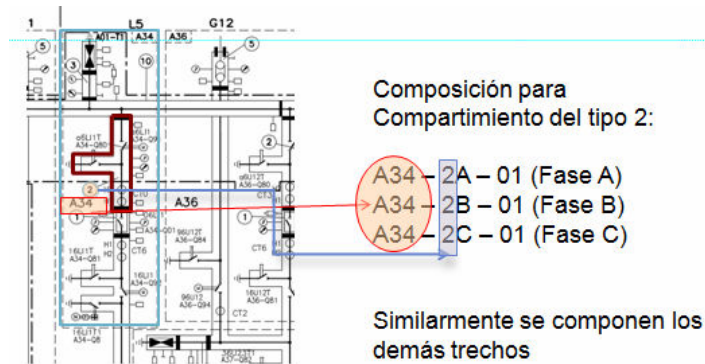


Figura 4: Conformación de la Nomenclatura.

- **Módulo de Registro y Consulta de Criterios de Medición** Permite el registro, edición y eliminación de un criterio de medición, el cual está basado en la figura 2 mencionada anteriormente. También permite realizar consulta de los criterios de medición disponibles.
- **Módulo de Registro y Consulta de Hot-spots** Permite el registro, edición y eliminación de la medición de un hot-spot, así como también la consulta del histórico de los hot-spots correspondiente a cada segmento. En este módulo, se realiza la detección de los hot-spots por medio de la cámara, en donde al apuntar la cámara sobre cada uno de los marcadores dispuestos en la GIS, la aplicación detecta cuales segmentos tuvieron hot-spots en la última medición realizada, visualizando en pantalla el marcador y la imagen termográfica asignada a dicha medición.
- **Módulo de Realidad Aumentada** Permite el análisis y detección de los hot-spots a través de los cálculos de detección proporcionados por la librería Flartoolkit.

## 5. ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO E IMPLEMENTACION



## 5.1 Ubicación y diseño de los marcadores

Para la implementación del aplicativo fue necesaria la ubicación de los marcadores dentro de la GIS. Previamente a las pruebas, fueron generados algunos marcadores con el aplicativo ARToolKit Marker Generator. A continuación se visualiza un ejemplo de marcador que se generaría para la detección de los hot-spots. (Fig. 5).

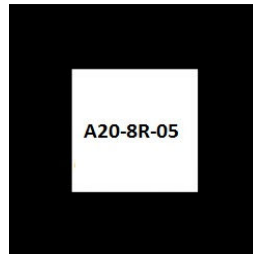


Figura 5: Modelo de Marcador utilizado para un segmento de la GIS.

Estos marcadores cuentan con un contorno negro y un cuadro blanco en el centro, en donde figura el texto del segmento al cual corresponde.

Para experimentar el funcionamiento del módulo RA se han realizado pruebas con los marcadores en distintas partes de la GIS. Consecuentemente, se ha llegado al prototipo de los posibles porta-marcadores que servirían de apoyo para ubicar correctamente los pertenecientes a cada segmento. A continuación, en la figura 8 se visualiza el porta marcador diseñado, el cuál está compuesto por una chapa de metal y estaría fijado al compartimiento por medio de un brazo y tornillos metálicos como soporte. Los marcadores irían pegados a cada uno de los lados de una chapa probablemente de acrílico.



Figura 6: Prototipo posible del porta-marcador.

## 5.2 Funcionamiento del aplicativo de detección de los Hot-Spots

Para una mejor comprensión de cómo es el funcionamiento durante la detección de los hot-spots utilizando el aplicativo, en la siguiente imagen (Fig. 7) se presenta el esquema de funcionamiento del mismo. En cada uno de los puntos enumerados se lleva a cabo una acción que será detallada a continuación:

En el **Paso 1**: El usuario inicia la aplicación en la tableta y selecciona dentro de la misma la opción Hot-spot dentro del menú principal.



X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ  
19, 20 y 21 de setiembre de 2012

En el **Paso 2**: Aparece una pantalla de configuración de la cámara en donde es posible realizar ciertas configuraciones de la calidad de la imagen y el zoom que se aplicaría.

En el **Paso 3**: La cámara ya está encendida en la tableta y es así como se visualiza el exterior de la GIS. Se apunta la cámara hacia uno de los marcadores para visualizar el resultado.

En el **Paso 4**: Se realiza una consulta en la base de datos sobre el listado de marcadores que poseen un registro en la última fecha de medición y se envía ese listado al Modulo de Realidad Aumentada. Este módulo se encarga de detectar si el marcador enfocado por la cámara se encuentra dentro del listado.

En el **Paso 5**: En este caso el resultado de la consulta fue afirmativo, y este segmento había registrado un hot-spot durante la última medición.

En el **Paso 6**: Este resultado es presentado en el monitor de la tableta, mediante la visualización de la imagen del marcador detectado, la imagen de la última medición termográfica adjuntada (en caso que posea) y finalmente el diseño de un punto rojo en 2D sobre el marcador.

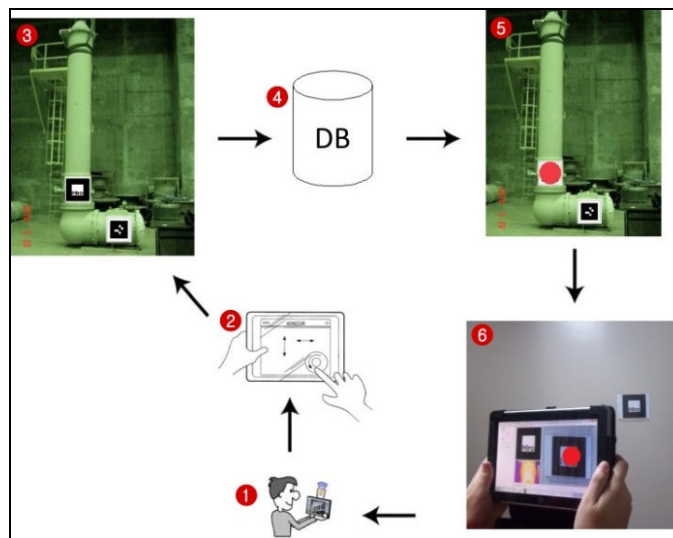


Figura 7: Esquema de Funcionamiento del módulo de detección de los hot-spots.

## 6. CONCLUSIONES

La Realidad Aumentada es una tecnología que en la actualidad se encuentra en auge. La infinidad de campos de aplicación existentes son amplios y aún no han sido todos explorados por completo. La problemática levantada en la gestión de los hot-spots de la GIS de la Itaipu derivó en una oportunidad de poner en práctica e implementar esta tecnología con el fin de agilizar el trabajo de las actividades rutinarias del Mantenimiento.



Comité Nacional Paraguayo



Unión de Ingenieros de ANDE

**X SEMINARIO DEL SECTOR ELECTRICO PARAGUAYO - CIGRÉ**  
**19, 20 y 21 de setiembre de 2012**

---

La conformación de una nomenclatura única para definir y designar un segmento en particular, facilitó la identificación de cada uno de ellos dentro de la GIS, mejorando la localización de los posibles hot-spots.

La visualización en tiempo real de los hot-spots, mediante la aplicación de técnicas de Realidad Aumentada facilitó la tarea del análisis previo de segmentos a medir debido a la respuesta inmediata del software y a la consolidación de la información en un sistema informático, facilitando la administración de estos datos.

Con la centralización de los datos en un sistema informático flexible, es decir moldado según el usuario final, se ha dinamizado la gestión de hot-spots, facilitando el análisis de estos puntos de una forma más práctica y rápida con el uso de técnicas de Realidad Aumentada que permiten consultar el estado anterior de alguno de estos hot-spots registrados en la inspección termográfica previa y acompañar así su estado evolutivo.

Finalmente, es posible afirmar que este proyecto ha obtenido resultados positivos, debido a que se ha logrado una reducción de tiempo razonable en la gestión de las mediciones termográficas, reduciendo el tiempo de generación de informes gerenciales del estado de la GIS relativo a estos puntos calientes.

## **BIBLIOGRAFIA**

- [1] Itaipu Binacional. Informe Técnico 6380-50-19597-E – Ensayo de Referencia para Mediciones de Temperatura utilizando Termografía en la Mini GIS, Rev. R0, Mayo 2010
- [2] CAWOOD, et al (2008). Augmented Reality: A Practical Guide, The Pragmatic Bookshelf, Unites States of America.
- [3] AZUMA, R.(1997). A survey of Augmented Reality, Hughes Research Laboratories, United States of America.
- [4] HERAS, L. y VILLARREAL, J. (2004). La Realidad Aumentada: Una Tecnología en Espera de Usuarios, en: “Revista Digital Universitaria”, 1/7, 6, Vol. 8, art. 48 México, en: <[www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art48/jun\\_art48.pdf](http://www.revista.unam.mx/vol.8/num6/art48/jun_art48.pdf)> ”
- [5] PAVON, J.(2008-09). Estructura de las Aplicaciones Orientadas a Objetos. “El patrón Modelo-Vista-Controlador (MVC)”, Universidad Complutense de Madrid, España.