

## PROYECTO FIN DE GRADO

**TÍTULO:** Diseño y Montaje de una Red de Área Local (LAN) en Quirófano

**TITLE:** Design and Installation of a Local Area Network (LAN) at Operating Room

**AUTOR/A:** Jaime Rodríguez-Carreño Pino

**TITULACIÓN:** Grado en Ingeniería Telemática

**DIRECTOR/A:**

**TUTOR/A:** Agustín Rodríguez Herrero

**DEPARTAMENTO:** Departamento de Telemática y Electrónica (DTE)

VºBº TUTOR/A

**Miembros del Tribunal Calificador:**

**PRESIDENTE/A:**

**TUTOR/A:**

**SECRETARIO/A:**

**Fecha de lectura:**

**Calificación:**

El Secretario/La Secretaria,

---

## Resumen

Diseño y montaje de una Red de Área Local (LAN) en quirófano.

La tecnología avanza de manera imparable en todos los ámbitos de la vida, y en el ámbito de la medicina se han logrado grandes avances en los últimos años, pero todavía queda margen de mejora y un largo camino por explorar.

Con el diseño y montaje de la LAN en el quirófano, se pretende dar otro paso más hacia la evolución de una automatización completa de la anestesia. Con todas las ventajas y comodidades que esta automatización puede conllevar. Gracias a esta red LAN, se podrá establecer una comunicación entre ordenador y máquinas anestésicas, a través de la cual se podrán recibir y actualizar parámetros en tiempo real. Dependiendo de cada fabricante y de cada máquina, será necesario utilizar diferentes tipos de conexión y comunicación conforme a sus características técnicas. En algunos casos los fabricantes facilitan el acceso a los datos internos y en muchos otros no, lo que dificulta la extracción de datos. En este proyecto se ha trabajado con la máquina BIS Vista™ (que da acceso a las variables relacionadas con la hipnosis, la nocicepción y el bloqueo neuromuscular) y con la máquina de constantes vitales (que da acceso a variables como la frecuencia cardíaca, la presión arterial y la saturación de oxígeno).

Tras el montaje de la red, con el uso de la herramienta LabVIEW de *National Instruments* para la programación de una aplicación, se podrá iniciar la recepción de los datos. En caso de ser la recepción de los datos correcta, en la misma aplicación, se procederá con el diseño y mejora de la interfaz gráfica del usuario (*Graphic User Interface, GUI*), con el fin de hacerla más atractiva visualmente y facilitar la interpretación de los parámetros necesarios. Este fue el caso para la máquina de anestesia BIS Vista™, que terminó siendo correctamente visualizada a través de la GUI de LabVIEW resaltando las variables principales: Índice biespectral (BIS), electromiograma (EMG) e indicador de calidad de la señal (SQI).

Para los casos en los que la recepción de los datos sea incorrecta, se investigarán otros posibles caminos, consultando las especificaciones técnicas del fabricante y diversos foros científicos. Tras la consulta, se realizarán los cambios oportunos en el montaje de red y en el tipo de conexión. Este fue el caso para la máquina de constantes vitales, para la cual, la recepción de datos fue nula, por lo que, se procedió a establecer comunicaciones usando LabVIEW entre distintos ordenadores y con una máquina ajena al quirófano, no relacionada de alguna manera con la anestesia, pero que permitiría adquirir conocimientos base que pudieran ser utilizados para solventar el error en la recepción de datos con el monitor de constantes vitales.

Lamentablemente, lo aprendido no fue suficiente para solventar el error de comunicación con este monitor, aunque sí se han descartado distintos caminos que han quedado reflejados y descritos en esta memoria y que, sin duda, allanarán el camino a seguir para un posible futuro estudiante que prosiga con el proyecto.

---

## Abstract

Local Area Network design and construction at operating room.

Technology is advancing unstoppably in all areas of life, and in the field of medicine, great progress has been made in recent years. However, there's still room for improvement and a long way to explore.

The design and setup of the LAN in the operating room aims to take another step towards the evolution of complete anesthesia automation, with all the advantages and conveniences this automation can bring. Thanks to this LAN, communication between computers and anesthetic machines can be established, through which parameters can be received and updated in real-time.

Depending on each manufacturer and machine, different types of connection and communication will be necessary according to their technical characteristics. In some cases, manufacturers provide easy access to internal data, while in many others they don't, making data extraction difficult. This project worked with the BIS Vista™ machine (which provides access to variables related to hypnosis, nociception, and neuromuscular blockade) and with the vital signs machine (which provides access to variables such as heart rate, blood pressure, and oxygen saturation).

After setting up the network, data reception can begin using the LabVIEW technical application. If data reception is correct, the same application will be used to design and improve the Graphic User Interface (GUI), making it more visually appealing and easier to interpret the necessary parameters. This was the case for the BIS Vista™ anesthesia machine, which ended up being correctly displayed through the LabVIEW GUI, highlighting the main variables: Bispectral Index (BIS), electromyogram (EMG), and Signal Quality Index (SQI).

For cases where data reception is incorrect, other possible paths will be investigated, consulting the manufacturer's technical specifications and various scientific forums. After consultation, appropriate changes will be made to the network setup and connection type. This was the case for the vital signs machine.

Because the issue with the vital signs machine persisted, communications using LabVIEW were established between computers and with a machine outside the operating room, unrelated to anesthesia, but which would allow acquiring basic knowledge that could be used to solve the error with the vital signs monitor.

Unfortunately, what was learned was not enough to solve the communication error with this monitor, although different paths have been ruled out and described in this report, which will undoubtedly pave the way for a possible future student to continue with the project."

---

## Índice de figuras

Figura 1. Monitor BIS Vista de Medtronic®.....	7
Figura 2. Cara posterior del Monitor BIS Vista™. Puertos de salida.....	8
Figura 3. Interfaz de usuario del monitor de constantes vitales.....	10
Figura 4. Cara posterior y puertos de salida del monitor de constantes vitales.....	11
Figura 5. Detalle de los puertos de salida del monitor de constantes vitales.....	11
Figura 6: Diagrama de bloques del cliente en el proyecto "SimpleTCP".....	19
Figura 7: Panel frontal del cliente en el proyecto "SimpleTCP".....	19
Figura 8: Diagrama de bloques del servidor en el proyecto "SimpleTCP".....	20
Figura 9: Panel frontal del servidor en el proyecto "SimpleTCP".....	20
Figura 10. Configuración en LabVIEW del diagrama de bloques.....	24
Figura 11. Aspecto en LabVIEW del panel frontal.....	26
Figura 12. Resultados de las encuestas de Google Forms.....	27
Figura 13. Opción 1 de la encuesta de <i>Google Forms</i> . La más votada.....	28
Figura 14. Opción 5 de la encuesta de Google Forms. La 2ª más votada.....	28
Figura 15: Cable serial RS232 para la conexión entre ordenador y monitor BIS VISTA.....	36
Figura 16: Contenido del fichero tras la ejecución del programa en LabVIEW.....	37
Figura 17: Captura de un fichero recogido con conexión serial entre ordenador y monitor de constantes vitales.....	38
Figura 18: Cable Ethernet utilizado para la conexión LAN.....	38
Figura 19: Adaptador LAN - USB utilizado para la conexión LAN.....	39
Figura 20: Adaptador Null Modem.....	39
Figura 21: Cable DB9 - DB9.....	40
Figura 22: Desglose de presupuesto. Fuente: Elaboración propia.....	43

---

## Lista de acrónimos

A continuación, se presenta un listado de los acrónimos y abreviaturas utilizados en este Proyecto Fin de Grado, junto con sus significados correspondientes, para facilitar la lectura y comprensión del documento:

BIS – Índice Biespectral, *Biespectral Index*

CLP – Protocolo de lazo cerrado, *Closed Loop Protocol*

EAS – Estado anestésico satisfactorio

ECG - Electrocardiograma

EMG - Electromiograma

HUIL – Hospital Universitario Infanta Leonor

HURYC – Hospital Universitario Ramón y Cajal

LAN – Red de Área Local, *Local Area Network*

NMB – Bloqueo neuromuscular, *Neuromuscular Blockade*

NOX – Índice de respuesta de estimulación nociva, *Noxious Stimulation Response Index*

OLP – Protocolo de lazo abierto, *Open Loop Protocol*

SQI – Índice de calidad de la señal, *Signal Quality Index*

---

# Índice de contenidos

Resumen.....	i
Abstract .....	iii
Índice de figuras.....	iv
Lista de acrónimos .....	v
Índice de contenidos.....	vii
<b>1. Introducción .....</b>	<b>1</b>
1.1 Marco y motivación del proyecto.....	2
1.2 Objetivos técnicos y académicos.....	3
1.3 Estructura del resto de la memoria.....	4
<b>2. Marco tecnológico.....</b>	<b>5</b>
2.1 Variable BIS.....	6
2.1.1 Monitor BIS del HUIL.....	7
2.2 Máquina de constantes vitales.....	8
2.2.1 Monitor de constantes vitales del HUIL.....	9
2.3 Quirófano animalario del HURYC.....	12
2.3.1 Monitores HURYC.....	12
<b>3. Especificaciones y restricciones de diseño.....</b>	<b>15</b>
3.1 Quirófano HUIL.....	16
3.2 Conexión LAN utilizando LabVIEW.....	16
3.3 Animalario.....	21
<b>4. Descripción de la solución propuesta.....</b>	<b>23</b>
4.1 Monitorización BIS en LabVIEW .....	23
4.1.1 Configuración del Programa en LabVIEW .....	24
4.1.2 Implementación en el Quirófano.....	26
4.1.3 Mejora Visual del Front-Panel .....	27
4.2 Monitorización de Constantes Vitales.....	29
4.2.1 Pruebas sobre las Distintas Hipótesis.....	29
4.3 Conexión LAN en LabVIEW .....	30
4.3.1 Conexión LAN entre Dos Ordenadores .....	30
4.3.2 Experimentación con máquina no Windows.....	30
4.4 Recogida de ficheros en HURYC.....	31
4.5 Finalidad del proyecto, aportaciones, problemas encontrados.....	32
<b>5. Resultados .....</b>	<b>35</b>
5.1 Resultados BIS.....	35
5.2 Resultados Constantes vitales .....	37
5.3 Resultados animalario .....	40
5.4 Discusión de los resultados.....	41
<b>6. Presupuesto.....</b>	<b>43</b>

---

<b>7.</b>	<b>Impacto del proyecto.....</b>	<b>45</b>
<b>8.</b>	<b>Conclusiones .....</b>	<b>47</b>
8.1	Conclusiones.....	47
8.2	Trabajos futuros .....	48
<b>9.</b>	<b>Referencias.....</b>	<b>49</b>

# 1. Introducción

Hoy en día, cualquier persona es conocedora del significado de la palabra anestesia, sobre todo esos “afortunados” que hemos tenido que recibirla en algún momento. Incluso, los que no han requerido de sus servicios, conocen la importancia de esta y el uso que tiene a lo largo de todo el mundo, jugando un papel fundamental en cualquier operación quirúrgica.

Detrás de la palabra anestesia, se esconden un sinfín de algoritmos, funciones matemáticas, estudios, números, porcentajes, variables, operaciones, fármacos, investigaciones, datos, experimentos, probabilidades, estadísticas y análisis. De esta otra faceta, salvo unos pocos aventurados, ya no todo el mundo es tan consciente.

En el proceso de la anestesia, se conocen 2 posibles formas de aplicación, *open-loop protocol* (OLP) y *closed-loop protocol* (CLP), en español, lazo abierto y lazo cerrado, respectivamente. La diferencia entre ellos es el porcentaje de participación humana a lo largo del proceso, siendo el OLP un proceso que depende totalmente de una entidad humana capaz de interpretar y procesar información que le permita tomar la mejor decisión en base a dicha información y la experiencia adquirida, es decir, que tenga capacidad de razonar, en este caso, esta entidad humana mencionada, son los médicos anestesiólogos. Por lo que, de forma opuesta, un CLP, tiene como protagonista a la automatización, tecnología, inteligencia artificial, ordenadores y algoritmos, lo que deja a los anestesiólogos con un papel más secundario, quitándoles gran cantidad de trabajo pero siendo todavía necesaria su participación proactiva como supervisores del sistema autónomo.

Es aquí donde nace nuestro proyecto, que tiene como fin, crear el camino y las herramientas tecnológicas que permitan el paso, de manera eficaz y segura, del OLP al CLP. Para llevar a cabo este proyecto, era necesario diseñar y montar una red de área local (*Local Area Network*, LAN) en uno de los quirófanos, en este caso, del Hospital Universitario Infanta Leonor (HUIL), en el cual, gracias a un convenio entre la Universidad Politécnica de Madrid (UPM) y el HUIL, hemos tenido acceso a sus quirófanos y nos han proporcionado todos los servicios que tuvieran a su alcance.

La finalidad de esta LAN, era que nos permitiese mantener una comunicación activa, es decir, en ambos sentidos, ascendente y descendente, y en tiempo real, entre las máquinas de anestesia y un ordenador. Esta comunicación se divide en 2 partes:

- 1) Una referente a recibir los datos desde las máquinas de anestesia al ordenador.
- 2) Otra referente a enviar los datos del ordenador a las máquinas.

Para ambas partes, se ha trabajado con la aplicación de LabVIEW, ya que permite el diseño de programas capaces de establecer una comunicación con prácticamente cualquier aparato tecnológico. No obstante, cada máquina tendrá unas especificaciones tecnológicas distintas. Es por esto, por lo que previo a la conexión, hay que estudiar el manual de usuario o manual de especificaciones técnicas del que dispone cada máquina, para conocer, entre otros, la

paridad de bits o la tasa de baudios, parámetros de los cuales hay que ser conocedor para poder establecer una configuración de conexión correcta.

Una vez recibida la información procedente de la máquina de anestesia, es necesario darle un aspecto visual práctico, a través, también, de la aplicación de LabVIEW, que nos permite dar el formato a los datos recibidos que más se ajuste a nuestros requisitos de manera sencilla. A través de la implementación de gráficas, botones y recuadros, pudiendo ajustar sus tamaños y colores a nuestro gusto, este diseño se debe de realizar pensando en las preferencias de los médicos.

Externo a todo el trabajo dentro de LabVIEW, está la parte referente al montaje físico de la red LAN en uno de los quirófanos del HUIL. Para llevar a cabo esta fase, ha habido un proceso de análisis para conocer las posibilidades de salida de cada máquina, es decir, sus puertos de salida, siendo conocedores de esta información se podía saber qué cables eran los adecuados para llevar al montaje. Por norma general, el cable conector DB9 Macho-USB ha sido el que nos ha permitido la conexión, a la comunicación con este cable se le conoce como conexión puerto-serie.

### **1.1 Marco y motivación del proyecto**

En la actualidad, hasta donde llega nuestro conocimiento y pese a que hay mucho interés en conseguirlo, todavía no se ha llevado a cabo una operación quirúrgica real que implemente un CLP durante todo el transcurso de la cirugía. Ingenieros junto con anestesiistas alrededor de todo el mundo están constantemente tratando de lograr alcanzar este objetivo, topándose con una serie de complicaciones como pueden ser las descritas a continuación:

- Ausencia de estándares universales: La falta de estándares universales en los dispositivos de anestesia dificulta la compatibilidad entre equipos de diferentes marcas, lo que complica la integración del CLP.
- Rechazo a la adopción de nuevas tecnologías: Existe una resistencia cultural entre los profesionales de la salud para adoptar nuevas tecnologías, debido a la ansiedad por las repercusiones médico-legales y la preferencia por métodos más tradicionales.
- Complejidad del entorno quirúrgico: Los anestesiistas deben monitorear múltiples variables simultáneamente elegidas en base a sus preferencias, lo que requiere una atención constante y personalizada que es difícil de automatizar completamente.
- Financiación insuficiente: La falta de financiación adecuada para la investigación y desarrollo limita la implementación de estas tecnologías en los hospitales.
- Intervención humana crítica: La toma de decisiones en situaciones de crisis durante las cirugías requiere la intervención rápida y experta de un anestesiista, algo que es difícil de replicar con sistemas automatizados.

Por otro lado, el hecho de tener que acceder al código interno de máquinas o monitores que no han sido diseñados para tal fin, resulta en un quebradero de cabeza para los ingenieros de todo el mundo que tratan de acceder a estos entornos. El principal problema, reside en los fabricantes de dichas máquinas, ya que, por división de intereses, no pretenden compartir dicha información con terceros, por lo que, podría darse el caso de encontrar código cifrado dentro de las máquinas anestésicas.

Debido a las razones anteriormente descritas, en esta ocasión y en muchas otras, se recurre a organismos de vida que se asemejen al de una persona humana, para poder probar los posibles efectos que tendrían algunas acciones en nuestro organismo.

Estas pruebas, son llevadas a cabo en quirófanos especiales, llamados quirófanos animalarios, los cuales no se encuentran en todos los hospitales, tan solo en una minoría. Aquí, se realizan procesos de investigación para obtener conclusiones que puedan ser derivadas posteriormente a un ámbito humano. Durante la realización de este proyecto, como se explicará en detalle más adelante, se tuvo la oportunidad de asistir a uno de estos quirófanos animalarios, en este caso, del Hospital Universitario Ramón y Cajal (HURYC).

Además, existe la posibilidad de poder trabajar con una serie de pacientes virtuales que la comunidad científica ha aprobado recientemente. Estos pacientes virtuales son modelos computacionales avanzados que simulan diversas condiciones médicas y respuestas fisiológicas, permitiendo a los profesionales y estudiantes practicar y perfeccionar sus habilidades en un entorno controlado y seguro. La implementación de estos pacientes virtuales tiene múltiples implicaciones positivas, como la mejora en la formación médica, la reducción de riesgos asociados con la práctica en pacientes reales, y la posibilidad de personalizar escenarios clínicos para abordar casos específicos. Además, estos modelos contribuyen a la investigación médica al proporcionar datos precisos y replicables, facilitando el desarrollo de nuevas técnicas y tratamientos.

## **1.2 Objetivos técnicos y académicos**

Durante la realización de este proyecto se pretende adquirir una serie de conocimientos tanto técnicos como personales, que sin duda favorecerán al alumno en su futura vida. Para el proyecto, el alumno mantendrá una comunicación constante sobre la toma de resultados o imprevistos con tutor y compañeros, lo que tendrá un impacto en las habilidades comunicativas del estudiante, además de moldear el planteamiento y forma de razonar soluciones ante problemas surgidos. Por otro lado, el proyecto dotará al alumno de conocimientos técnicos necesarios sobre redes, comunicaciones y aplicaciones técnicas específicas que se utilicen en la realización del mismo.

Los subobjetivos de este proyecto fin de grado son, desde el punto de vista técnico:

- Adquirir conocimientos sobre el montaje de redes LAN, para definir un procedimiento de un montaje de una red en un quirófano.

- Aprender sobre el manejo de la aplicación técnica LabVIEW, para el manejo del hardware tanto informático como clínico.
- Entender los conocimientos base de la anestesia, analizando el amplio abanico de tecnología clínica aplicado en la anestesia.
- Estudiar las distintas posibilidades de comunicación entre ordenador y máquinas anestésicas, analizando y definiendo los elementos necesarios.

Desde el punto de vista académico, el proyectista adquiere las siguientes competencias y habilidades:

- Capacidad de comprensión y análisis del problema.
- Capacidad de búsqueda de soluciones ante problemas imprevistos.
- Capacidad de redacción de resultados obtenidos.
- Capacidad de comunicación para comentar problemas, resultados o experiencias relacionadas con el proyecto.
- Capacidad de trabajo en equipo, junto a los anestésistas y los demás integrantes del proyecto.

### **1.3 Estructura del resto de la memoria**

En los próximos capítulos de la memoria, se ofrecerá información detallada sobre el desarrollo del proyecto.

En el apartado de *Marco Tecnológico*, se explicarán los tipos de tecnologías utilizadas a lo largo del proyecto. Se detallarán los conocimientos básicos y específicos que se tuvieron que adquirir a través de los seminarios médicos impartidos por el tutor al comienzo del trimestre, para poder trabajar con las variables que dan nombre a la anestesia.

Posteriormente, se analizarán las *Especificaciones y Restricciones del Diseño*. En esta sección, se explicará cómo se abordaron los requisitos y limitaciones del proyecto, y cómo se tuvieron en cuenta durante el desarrollo de la solución.

A continuación, se describirá la *Solución Propuesta*. En este apartado, se incluirá información sobre los componentes y tecnologías utilizados, así como los detalles de la implementación de la solución.

Los *Resultados del Proyecto* también serán comentados, para dar a conocer al lector el desempeño y logros alcanzados durante el desarrollo, y en el cual se abordará información relativa al avance cronológico de la solución.

Finalmente, en las *Conclusiones y Futuras Líneas de Trabajo*, se expondrán las conclusiones del proyecto, así como las posibles mejoras o extensiones que se podrían llevar a cabo en el futuro y de qué manera proceder con la continuación de este proyecto.

## **2. Marco tecnológico**

La anestesia es un campo crítico de la medicina que desempeña un papel vital en el ámbito médico moderno. Implica la administración de medicamentos, para inducir en un estado de inconsciencia controlada, alivio del dolor y relajación muscular al paciente, a lo largo del procedimiento. El propósito principal de la anestesia, es garantizar la comodidad y la seguridad de los pacientes que se someten a intervenciones quirúrgicas.

La anestesia se basa en el principio de alterar la función del sistema nervioso central para prevenir la percepción del dolor y otras sensaciones. Los anestesiólogos, profesionales médicos altamente capacitados, son los responsables de administrar y monitorear la anestesia durante todo un procedimiento. Seleccionan y administran cuidadosamente una combinación de fármacos anestésicos, como anestésicos generales, anestésicos locales y sedantes, para lograr el nivel deseado de inconsciencia y alivio del dolor. Los propósitos principales de la anestesia general (AG) incluyen, un manejo del dolor, relajación muscular, inconsciencia, estabilidad cardiovascular y respiratoria, comodidad y seguridad del paciente.

La AG es un campo complejo que requiere una extensa capacitación, conocimiento y vigilancia por parte de los anestesiólogos para garantizar la administración segura y eficaz de los fármacos anestésicos. Los avances continuos en la tecnología y la farmacología de la AG han mejorado enormemente los resultados de los pacientes y la calidad general de la atención médica, no obstante, todavía existen sendas por explorar y bajo exploración para mejorar aún más el procedimiento.

Existen tres variables que sirven de pilares principales para la AG. Estas tres variables son las que se encargan de medir:

- EL nivel de conciencia del paciente, también conocido como índice bispectral del paciente, es el valor que mide la actividad eléctrica cerebral durante la operación. Este valor es igual a '100' en un estado normal, y '0' en un nivel de conciencia nulo, es decir, en ausencia de actividad eléctrica cerebral. De aquí en adelante, a esta variable se la conocerá como BIS. Su rango satisfactorio durante la operación se encuentra entre 40 y 60, siendo el valor diana de 50.
- El nivel de respuesta sensitiva, es decir, el nivel de insensibilidad al dolor, conocido como el índice de respuesta de estimulación nociva o nocicepción. A esta variable se le conoce como NOX. Su rango satisfactorio durante la operación se encuentra entre 20 y 40, siendo el valor diana de 30.
- La capacidad de respuesta motora, es decir, la relajación muscular, conocida como bloqueo muscular. Esta variable, en los rangos adecuados, asegura al anestesiólogo que el paciente no tendrá espasmos musculares o movimientos indeseados durante la operación como respuesta a cualquier estímulo que pueda sufrir. Durante el transcurso del proyecto, se le denominará como variable NMB. Su rango satisfactorio durante la operación se encuentra entre 5 y 15, siendo el valor diana de 10.

El proceso previo al perioperatorio, también conocido como evaluación preoperatoria, es una etapa crucial en la preparación de un paciente para una intervención quirúrgica. Durante este proceso, el equipo médico recopila información vital sobre el paciente, incluyendo datos básicos como edad, peso y altura. Además, se realiza una revisión exhaustiva del historial médico del paciente, incluyendo enfermedades previas, alergias, medicamentos actuales y cirugías anteriores. Esta evaluación también puede incluir exámenes físicos. El objetivo principal de esta fase es identificar posibles factores de riesgo, optimizar la condición del paciente antes de la cirugía y desarrollar un plan de anestesia y cuidados perioperatorios personalizado, lo que contribuye significativamente a mejorar los resultados quirúrgicos y la seguridad del paciente.

Al inicio de la operación quirúrgica, al paciente se le suministra una serie de bolos de fármacos que inducen al paciente en un estado óptimo para la operación, es decir, inducen al paciente en un estado en el que las variables BIS, NOX y NMB se encuentran dentro del rango adecuado, llamado estado anestésico satisfactorio (EAS), posteriormente a esta administración de bolos se mantiene una velocidad constante de administración de los medicamentos para mantener los efectos, esto es lo que se conoce como infusión o perfusión. Los fármacos asociados en AG son: Propofol (PPF), remifentanilo (RMF) y rocuronio (RCN). Aunque cada uno tiene un efecto claramente definido PPF-BIS, RMF-NOX y RCN-NMB, el PPF interacciona con el NOX y el RMF con el BIS, esta farmacología se conoce como sinergia.

A esta primera fase de la AG, se le conoce como fase de “inducción”. Tras esta fase, se entra en una fase de “mantenimiento”, en la cual, se pretende mantener las variables dentro de sus rangos óptimos, esto se logra mediante la aplicación de dosis constantes de fármacos ya que, de lo contrario, si se dejasen de aplicar estos fármacos, el paciente iría volviendo poco a poco a sus valores normales de BIS, NOX y NMB, y, una vez alcanzados, el paciente terminará por despertarse y volver al estado de vigilia.

A la técnica de aplicación constante de fármacos durante la fase de mantenimiento, se le conoce como “perfusión”, y se lleva a cabo a través de la máquina de bolos de perfusión, encontrada en todos los quirófanos.

Por último, una vez terminada la actuación del cirujano, el anestesista comenzará la tercera y última fase, conocida como fase del “despertar”. En esta fase, se cesa la aplicación de fármacos y, poco a poco, se va despertando al paciente, mediante el estímulo de la voz. Una vez el paciente entra en un estado de consciencia adecuado, se le traslada del quirófano al área de despertar, donde se seguirá manteniendo una monitorización constante de las constantes vitales del paciente, hasta su despertar completo.

## **2.1 Variable BIS**

El monitoreo de la variable BIS, es llevada a cabo por un monitor particular, que se encarga de medir, en tiempo real, el índice biespectral del paciente. En este índice, se encuentra la

actividad eléctrica cerebral, y a través de algoritmos se transforma a un índice que varía entre 0 y 100. Este monitor, no tiene por qué ser común en todos los quirófanos ya que existen gran variedad de fabricantes que proporcionan este monitor, y cada hospital tendrá sus acuerdos con unos o con otros. Sin embargo, los fabricantes más comunes para este monitor son: Medtronic®, GE Healthcare™, Philips Healthcare®, Mindray® y Dräger®.

Estos fabricantes, han creado, respectivamente, los siguientes monitores para medir la variable del BIS:

- Medtronic® - Monitor BIS Vista™.
- GE Healthcare™ - GE CARESCAPE™ Monitor B850/B650.
- Philips Healthcare® - Philips IntelliVue™ MP70/MP50.
- Mindray® - Mindray BeneVision™ N22/N19.
- Dräger® - Dräger Infinity® Delta.

### **2.1.1 Monitor BIS del HUIL**

El dispositivo utilizado en este estudio es el Monitor BIS Vista™ de Medtronic®, el modelo empleado en los quirófanos del Hospital Universitario Infanta Leonor (HUIL), de aspecto similar al mostrado en la Figura 1.



**Figura 1. Monitor BIS Vista de Medtronic®.**

Dicho monitor muestra información crucial sobre el estado de conciencia del paciente durante procedimientos que involucran anestesia o sedación. La pantalla del monitor presenta el Índice Biespectral (BIS), que indica el nivel de conciencia del paciente y varía entre 0 y 100, junto con otros parámetros importantes como el electromiograma (EMG) y el indicador de calidad de la señal (SQI). Este monitor es capaz de proporcionar una visualización en tiempo real de la actividad cerebral, lo que permite a los anestesiólogos ajustar la dosificación de los fármacos de manera más precisa.

En cuanto a sus capacidades de comunicación, el Monitor BIS Vista™ está diseñado para ser una plataforma versátil con capacidad de expansión futura, lo que sugiere que puede integrarse con otros sistemas de monitorización y equipos médicos en el entorno quirúrgico. Además, su configuración flexible permite adaptarse a las necesidades específicas de cada usuario y entorno clínico

El dispositivo está equipado con una salida DB9, lo que permite establecer una conexión puerto-serie mediante un cable DB9-Hembra-USB. Esta característica técnica fue identificada previamente al inicio del estudio y puede observarse, además de otras componentes, en la Figura 2.

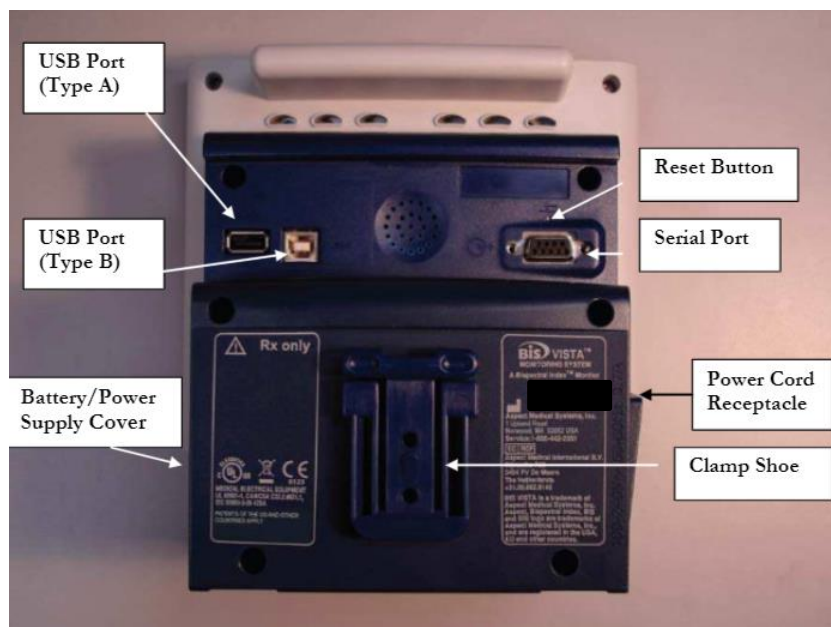


Figura 2. Cara posterior del Monitor BIS Vista™. Puertos de salida.

## 2.2 Máquina de constantes vitales

La estación de anestesia es un dispositivo esencial en el quirófano, diseñado para administrar y monitorear los patrones anestésicos durante los procedimientos médicos. Este equipo sofisticado desempeña un papel crucial en el mantenimiento de la seguridad y el bienestar del paciente bajo anestesia. La estación de anestesia está compuesta por varios componentes clave, incluyendo:

1. Sistema de suministro de gases: Proporciona una mezcla precisa de oxígeno, óxido nítrico y aire comprimido para la ventilación del paciente.
2. Vaporizador: Controla la concentración de los agentes anestésicos volátiles que se administran al paciente.
3. Sistema de ventilación: Asiste o controla la respiración del paciente durante el procedimiento.

4. Monitores: Supervisan constantemente las constantes vitales del paciente, como frecuencia cardíaca, presión arterial, saturación de oxígeno y dióxido de carbono espirado.

Una de las funciones más importantes de la máquina de anestesia es el monitoreo continuo de las constantes vitales del paciente. Los anestesiólogos utilizan esta información para ajustar la dosis de los fármacos anestésicos y mantener la estabilidad del paciente durante todo el procedimiento.

La pantalla del monitor de constantes vitales muestra una amplia gama de parámetros, incluyendo ECG, presión arterial, saturación de oxígeno, temperatura corporal, frecuencia cardíaca. Estos datos se visualizan en pantallas digitales y se registran continuamente para permitir un seguimiento preciso de la condición del paciente.

La estación de anestesia está diseñada con múltiples sistemas de seguridad para prevenir complicaciones y garantizar la administración segura de los fármacos. Además, su diseño simple y fácil de usar facilita la labor de los anestesiólogos, permitiéndoles concentrarse en el cuidado del paciente.

En resumen, la estación de anestesia es un componente vital del quirófano, proporcionando un monitoreo preciso de las constantes vitales del paciente y facilitando la administración segura y eficaz de los fármacos durante las cirugías.

### **2.2.1 Monitor de constantes vitales del HUIL.**

El monitor de constantes vitales utilizado en este estudio en el Hospital Universitario Infanta Leonor (HUIL) es un monitor B650 CARESCAPE™ fabricado por GE Healthcare, de aspecto idéntico al mostrado en la Figura 3.



Figura 3. Interfaz de usuario del monitor de constantes vitales.

Su interfaz de usuario intuitiva permite una visualización clara y personalizable de la información del paciente.

En cuanto a sus capacidades de comunicación, el B650 CARESCAPE™ está diseñado para integrarse perfectamente con otros sistemas hospitalarios y dispositivos médicos. Ofrece opciones de conectividad avanzadas que permiten la transferencia de datos a sistemas de información clínica, otros monitores de pacientes y dispositivos de diagnóstico, facilitando un flujo de información continuo y eficiente en el entorno clínico.

La cara posterior de este monitor está equipada con los puertos de salida que pueden observarse en la Figura 4 y la Figura 5:

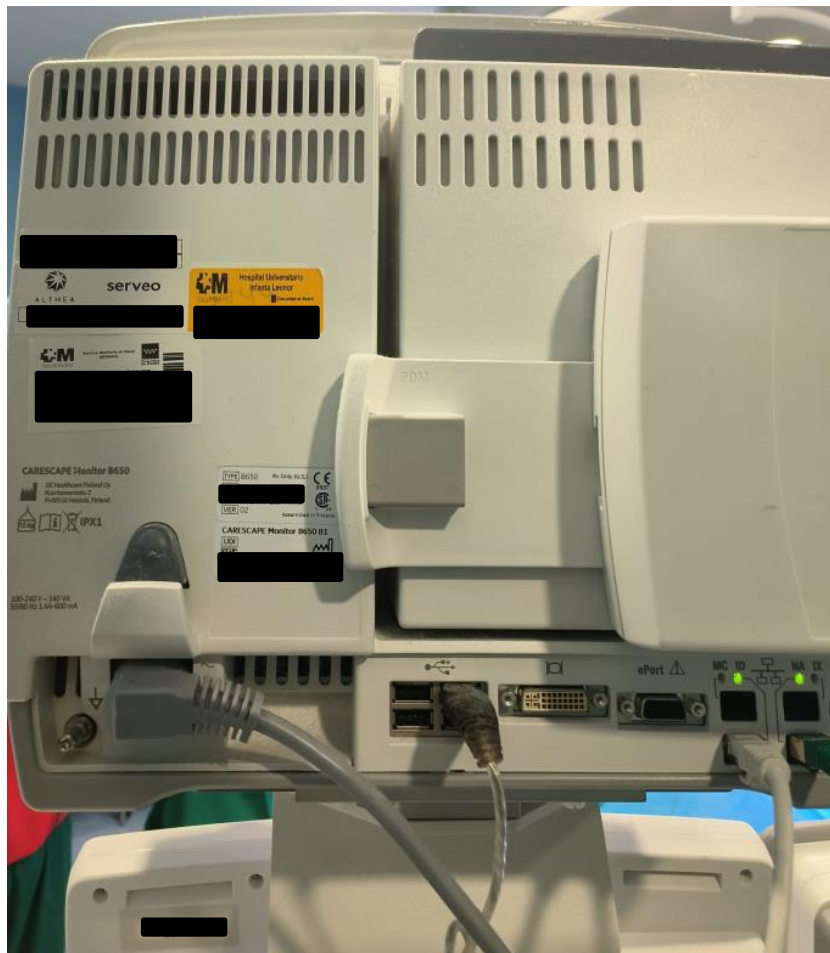


Figura 4. Cara posterior y puertos de salida del monitor de constantes vitales.



Figura 5. Detalle de los puertos de salida del monitor de constantes vitales.

## **2.3 Quirófano animalario del HURYC**

Durante el transcurso del proyecto, se tuvo acceso directo a uno de los quirófanos destinados a usos animalarios del Hospital Universitario Ramon y Cajal (HURYC). Dichos quirófanos son meramente experimentales, y es donde se llevan a cabo diferentes experimentos o pruebas que, en caso de resultar positivos, pueden acabar siendo introducidos en los quirófanos normales, aplicando los conocimientos aprendidos a través de dichas pruebas para las técnicas actuales. También, es el lugar donde se llevan a cabo las comprobaciones sobre las nuevas técnicas propuestas por la investigación, hasta tener un porcentaje de éxito elevado. Es aquí cuando dichas técnicas pueden ser trasladadas a la sociedad.

En el marco de este proyecto, esta experiencia resultaba importante, ya que se iba a tener acceso de primera mano a las diferentes máquinas anestésicas allí usadas, estas máquinas no suelen ser comunes en todos los hospitales, ya que, al haber tantos fabricantes y existir preacuerdos entre algunos hospitales y algunos fabricantes, dichas máquinas varían en función del hospital en el que nos encontremos.

A pesar de esto, era necesario llevar a cabo un estudio sobre las máquinas que en concreto se usaban en el HURYC. Ser conocedor del modelo y de los diferentes puertos de salida, es vital para el futuro desarrollo de este proyecto, ya que, una vez pasada la fase de desarrollo, llegará la fase de implementación, que se podría llevar a cabo en un entorno similar a este.

### **2.3.1 Monitores HURYC**

En concreto, los monitores que nos encontramos en el quirófano del HURYC fueron los siguientes:

GE Datex-Ohmeda S/5 PSV Inside®: Máquina anestésica para las constantes vitales.

Alaris GP Plus®: Máquina para las bombas de perfusión.

El monitor GE Datex-Ohmeda S/5 PSV Inside® es un dispositivo de monitorización avanzado que ofrece una amplia gama de parámetros vitales para el seguimiento del paciente durante la anestesia. La pantalla del monitor muestra información crucial como signos vitales, gases respiratorios, hemodinámica y adecuación de la anestesia. Este monitor presenta capacidades de visualización flexibles, incluyendo tendencias numéricas y gráficas de 24 horas.

En cuanto a sus capacidades de comunicación, el S/5 está diseñado para integrarse con otros equipos de anestesia y sistemas de monitorización. Cuenta con interfaces seriales que permiten la conexión con otros dispositivos médicos y ordenadores, facilitando la transferencia de datos y la integración en sistemas de información hospitalaria más amplios.

En cuanto al monitor Alaris GP Plus®, es una bomba volumétrica versátil diseñada para una amplia gama de aplicaciones de infusión. La pantalla del dispositivo es grande y clara, lo que permite una rápida lectura de datos críticos con menos pulsaciones de teclas. Muestra

información esencial como la velocidad de infusión, el volumen infundido, el tiempo restante y alertas de alarma. El monitor cuenta con indicadores de alarma visuales y sonoros, incluyendo una baliza de alarma con indicadores rojo (alarma) y ámbar (advertencia).

En cuanto a sus capacidades de comunicación, aunque la información específica no se detalla en los manuales de usuario proporcionados por el fabricante, es probable que el Alaris GP Plus® tenga la capacidad de integrarse con otros sistemas de monitoreo hospitalario y equipos médicos, dado que es parte de una plataforma más amplia de infusión (Alaris™ Plus Platform) diseñada para entornos clínicos modernos.

### **3. Especificaciones y restricciones de diseño**

El diseño de este proyecto busca establecer una conexión entre ordenador y máquina de anestesia a través de una red LAN, esto presenta diversas especificaciones y restricciones que deben ser consideradas para garantizar el éxito y seguridad.

Se han valorado las siguientes especificaciones para el desarrollo del proyecto:

Selección de un protocolo de comunicación adecuado, como TCP/IP o Puerto-Serie, que permita la transmisión de datos de manera eficiente entre el ordenador y la máquina de anestesia.

La interfaz de usuario de la solución en LabVIEW en el ordenador debe ser intuitiva y fácil de usar, permitiendo a los anestesiólogos acceder rápidamente a los datos de la máquina de anestesia y realizar ajustes según sea necesario.

El sistema debe ser capaz de transmitir datos en tiempo real, permitiendo a los profesionales monitorear constantemente las variables anestésicas.

Por último, la solución debe ser compatible con diferentes modelos de máquinas de anestesia y sistemas operativos de ordenadores que puedan ser utilizados.

Además, se han tenido en cuenta las siguientes restricciones, que afectaban de manera directa al desarrollo del proyecto:

Se han tenido que considerar las especificaciones de hardware del ordenador y de la máquina de anestesia, asegurando que ambos dispositivos cuenten con las capacidades necesarias para soportar la comunicación y el procesamiento de datos.

La implementación de la solución no debe alterar el riesgo de interferencias electromagnéticas que puedan afectar a la comunicación entre dispositivos, especialmente en un entorno quirúrgico.

El proyecto debe cumplir con las regulaciones y normativas de salud y seguridad aplicables.

La conexión entre el ordenador y la máquina de anestesia se establecerá a través de un montaje de red LAN utilizando cables Ethernet y Puerto-Serie. Esto proporciona la posibilidad de establecer una comunicación rápida y estable, permitiendo la transferencia eficiente de datos en tiempo real. La implementación de esta red LAN no solo optimiza el rendimiento del sistema, sino que también facilita la integración con otros dispositivos médicos, mejorando así la atención al paciente.

Para el desarrollo del proyecto, una vez completado el montaje de red, se utilizará la herramienta técnica LabVIEW para la visualización de los datos transmitidos. LabVIEW (*Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*) es un entorno de programación gráfica desarrollado por *National Instruments* que proporciona un potente conjunto de herramientas para pruebas, medidas y control. Su característica principal es el uso de un

lenguaje de programación visual que permite crear aplicaciones mediante diagramas de bloques, en lugar de código textual tradicional. LabVIEW ofrece una amplia gama de funciones para entrada/salida de datos, análisis y presentación, lo que lo hace especialmente útil en aplicaciones de ingeniería y ciencias. Entre sus ventajas destacan su facilidad de uso, que lo hace accesible tanto para programadores profesionales como para principiantes, su capacidad de integración con diversos hardware y software, y su eficiencia en el desarrollo de sistemas de pruebas y medición. Además, LabVIEW permite el paralelismo automático en la ejecución de código, lo que puede mejorar significativamente el rendimiento de las aplicaciones.

### **3.1 Quirófano HUIL**

Como ya se ha mencionado anteriormente, para la realización del proyecto se iba a tener la posibilidad de asistir con regularidad a uno de los quirófanos del HUIL, para poder, entre otras cosas, poner a prueba las conexiones planteadas y llevar a cabo un estudio visual de las máquinas utilizadas.

Esto ha sido posible gracias a un convenio UPM-HUIL, que, no sin antes una serie de trabas y fallas administrativas que demoraron la primera visita en más de un mes, nos proporcionó una libre asistencia a las instalaciones gracias a una tarjeta identificativa que nos proporcionaron. Una vez obtenido el pase, se acordó verbalmente con el tutor del proyecto una asistencia constante al quirófano, en concreto, se estableció que los jueves y viernes de cada semana serían los días apropiados para dicha visita. Durante el resto de la semana se pondrían en común los resultados, avances o problemas obtenidos durante las visitas a quirófano y se trabajaría en diferentes soluciones de cara a la visita de la próxima semana.

### **3.2 Conexión LAN utilizando LabVIEW**

Los programas configurados para la conexión LAN en LabVIEW, están formados, a su vez, por 2 subprogramas; cliente y servidor. El cable Ethernet deberá de interconectar la máquina que actúe de servidor con la máquina que actúe de cliente. La máquina que actúa de "Servidor" es el transmisor, es la encargada de generar los datos y compartirlos a través de la conexión LAN/Ethernet. El programa "Cliente" es el receptor, se configura de tal manera que abra una conexión LAN y empiece a "escuchar" la información compartida que llegue a través del cable Ethernet.





Para que la conexión funcione correctamente, es necesario introducir en el cliente la dirección IP del ordenador que actúa como servidor. Para obtener esta información, desde el símbolo del sistema CMD, se ejecuta el comando "*ipconfig*". Además, tanto en el servidor como en el cliente es necesario especificar el puerto de salida, que debe coincidir uno con otro. Conocida la dirección IP del servidor, es necesario introducirla en el cliente para que este sepa con que

equipo de la red debe comunicarse, también es necesario introducir la dirección IP en el propio servidor.


Para llevar a cabo esta conexión, se utilizó un proyecto existente perteneciente a la librería de ejemplos que proporciona la propia aplicación LabVIEW, denominado “SimpleTCP”. Este proyecto presentaba el siguiente aspecto para la parte del cliente (Figura 6 y Figura 7) y para la parte del servidor (Figura 8 y Figura 9).

El funcionamiento del proyecto “Simple TCP/IP” explicado más detalladamente se encuentra a continuación:

Funcionamiento del *TCP Server.vi*:

1. **Apertura de un Listener TCP:** El servidor comienza abriendo un *Listener TCP* utilizando la función *TCP Listen*. Este *Listener* se asocia a un puerto específico (por defecto el 6340) y espera que un cliente establezca una conexión.  

2. **Esperar Conexión de Cliente:** Una vez que el *Listener* está activo, el VI utiliza la función *TCP Wait on Listener* para esperar que un cliente se conecte. Cuando un cliente intenta conectarse, esta función devuelve una referencia de conexión TCP.
3. **Bucle de Comunicación:** Después de que la conexión se haya establecido, el servidor entra en un bucle de comunicación. Este bucle se utiliza para:
  - Leer Datos del Cliente: Utilizando la función *TCP Read*, el servidor lee los datos enviados por el cliente.  

  - Procesar los Datos: En este ejemplo, el servidor simplemente representa en una gráfica los valores recibidos.
  - Enviar Respuesta al Cliente: Utilizando la función *TCP Write*, el servidor envía la respuesta procesada de vuelta al cliente.  

  - Cerrar Conexión y Listener: Una vez que la comunicación se completa o si ocurre un error, el servidor cierra la conexión TCP y luego cierra el *listener* utilizando las funciones *TCP Close Connection*.  


Funcionamiento del *TCP Client.vi*

1. **Conexión al Servidor:** El cliente comienza utilizando la función *TCP Open Connection* para conectarse al servidor en la dirección IP y puerto especificados (por defecto, localhost y puerto 6340).  


2. **Bucle de Comunicación:** Similar al servidor, el cliente entra en un bucle de comunicación para:



- Enviar Datos al Servidor: Utilizando la función *TCP Write*, el cliente envía un mensaje de texto al servidor.



- Leer la Respuesta del Servidor: Utilizando la función *TCP Read*, el cliente lee la respuesta enviada por el servidor.



- Cerrar la Conexión: Una vez que se ha completado la comunicación, el cliente cierra la conexión utilizando *TCP Close Connection*.

### Sub VI's Utilizados en el Proyecto "Simple TCP/IP"

Ambos VI's, el cliente y el servidor, pueden utilizar subVI's que se encargan de realizar tareas específicas. Los subVI's más relevantes del proyecto son:

1. *TCP Open Connection.vi*: Este subVI es utilizado por el cliente para abrir una conexión con el servidor. Necesita parámetros como la dirección IP del servidor y el puerto para conectarse.



2. *TCP Close Connection.vi*: Tanto el cliente como el servidor utilizan este subVI para cerrar la conexión TCP de manera ordenada.



3. *TCP Listen.vi*: Este subVI es utilizado por el servidor para abrir un *listener* TCP en un puerto específico y esperar conexiones de clientes.



4. *TCP Wait on Listener.vi*: Una vez que el *listener* está abierto, este subVI espera que un cliente se conecte al servidor y devuelve una referencia de conexión TCP.

5. *TCP Read.vi*: Este subVI se utiliza para leer datos de la conexión TCP establecida. Se puede especificar la cantidad de datos a leer o esperar hasta que se reciban todos los datos.



6. *TCP Write.vi*: Similar al anterior, este subVI se utiliza para escribir o enviar datos a través de una conexión TCP.



7. *Error Handling.vi*: Maneja errores que puedan ocurrir durante las operaciones de red, como conexiones fallidas, tiempo de espera excedido, etc.



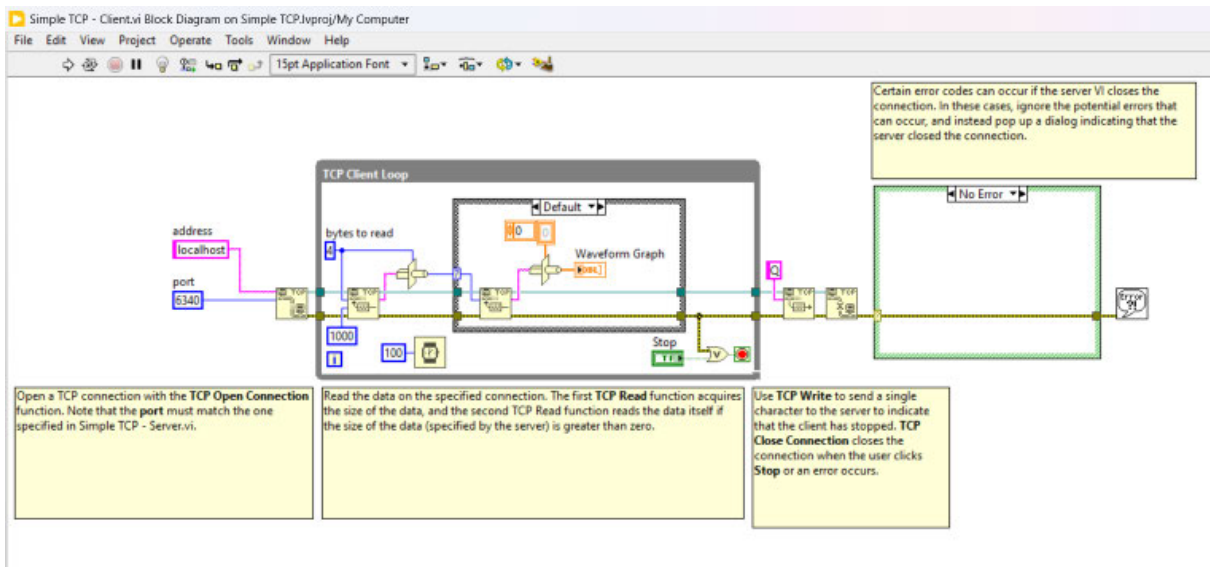


Figura 6: Diagrama de bloques del cliente en el proyecto "SimpleTCP"

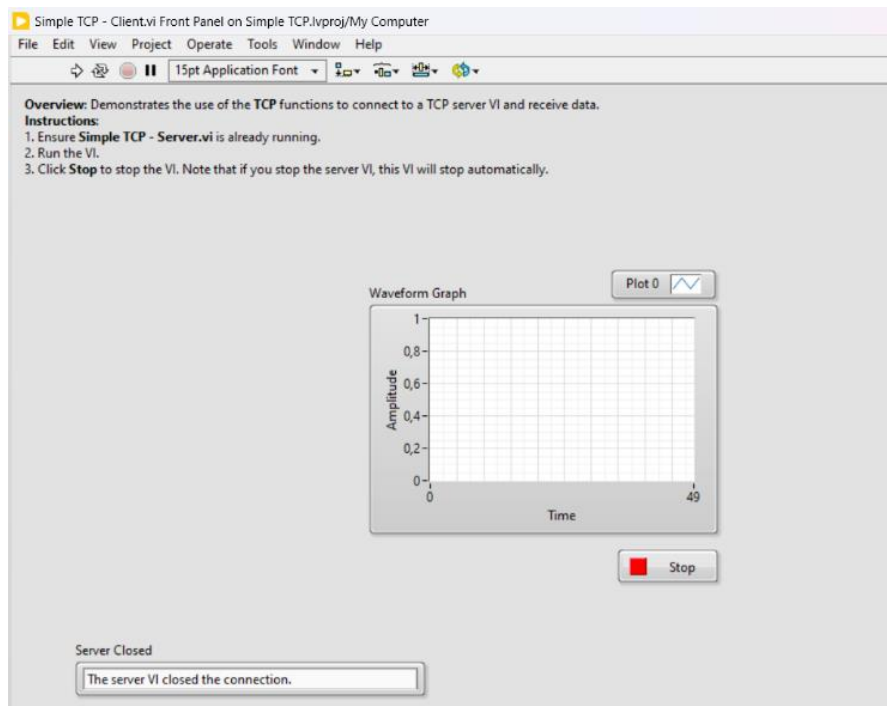


Figura 7: Panel frontal del cliente en el proyecto "SimpleTCP".

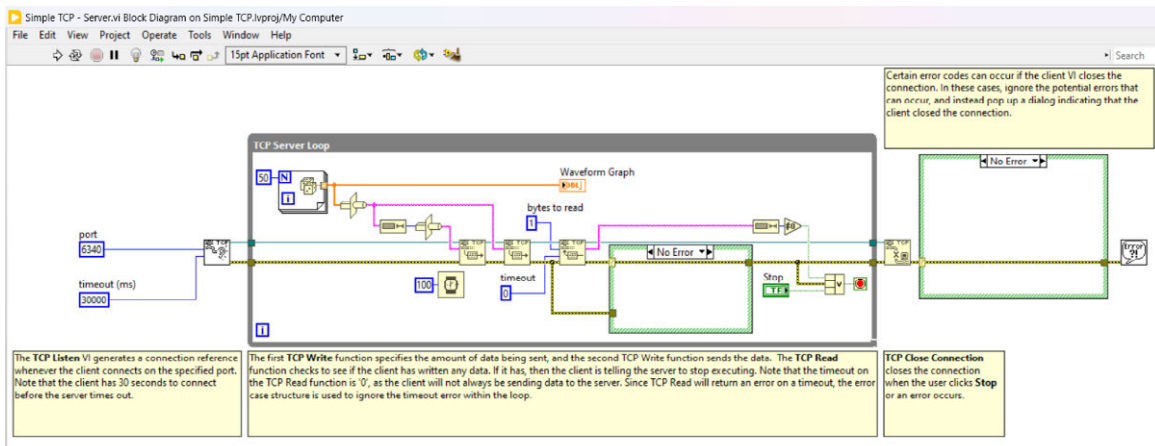


Figura 8: Diagrama de bloques del servidor en el proyecto "SimpleTCP".

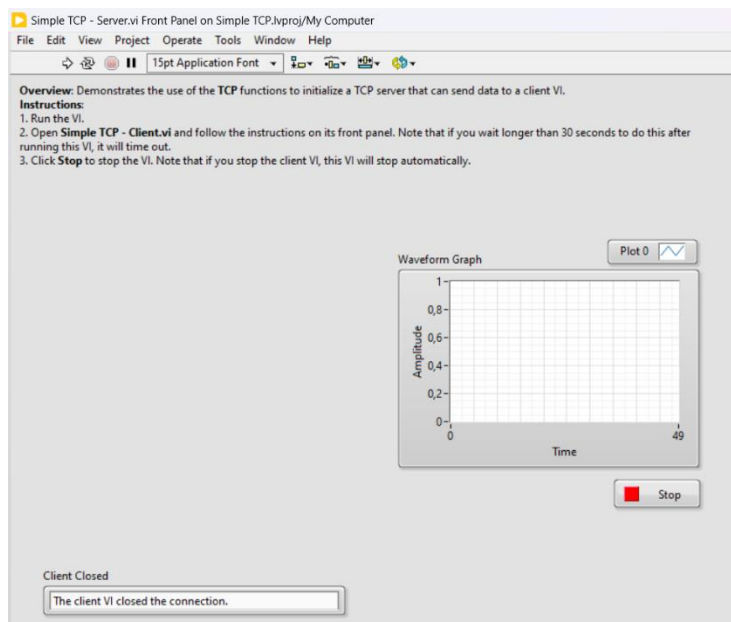


Figura 9: Panel frontal del servidor en el proyecto "SimpleTCP".

Para este proyecto, el modelo de cliente-servidor a través de LabVIEW presentaba varios problemas para los cuales, de momento, no había respuesta. El principal de los problemas venía a la hora de razonar, que el servidor, en este caso, la máquina de constantes vitales, era una máquina no Windows, que no se podía programar de ninguna manera y que obviamente tampoco podía ejecutar un programa LabVIEW para que actuara de servidor.

### **3.3 Animalario**

Un quirófano animalario es una instalación especializada diseñada para realizar procedimientos y experimentos quirúrgicos en animales con fines de investigación médica y científica. Estos quirófanos están equipados con tecnología avanzada casi similar a la utilizada en quirófanos para humanos, incluyendo sistemas de anestesia, monitores de constantes vitales y equipos de imagen. El personal que trabaja en estos espacios suele incluir veterinarios especializados, investigadores, cirujanos, técnicos de laboratorio y personal de apoyo, todos ellos formados en el manejo ético de animales de laboratorio. Los animales más utilizados en estos quirófanos son roedores (como ratas y ratones), conejos, cerdos y, en algunos casos, primates no humanos, dependiendo del tipo de investigación.

Las actividades realizadas en estos quirófanos pueden incluir desde procedimientos quirúrgicos experimentales hasta pruebas de nuevos dispositivos médicos, técnicas quirúrgicas o terapias, siempre bajo estrictos protocolos éticos y de bienestar animal.

Durante el transcurso del proyecto, se tuvo la oportunidad de asistir a uno de estos quirófanos animalarios presentes en Madrid, en concreto, se asistió al quirófano animalario del Hospital Universitario Ramón y Cajal (HURYC). Dicha visita tenía, como fin, visualizar, entender y registrar el equipamiento anestésico utilizado y tratar de establecer comunicación con monitores y máquinas presentes.

El material técnico usado en estos quirófanos, normalmente no suele ser tan novedoso como los que se ven en un quirófano para humanos. De manera concurrente, esta maquinaria suele quedar obsoleta, debido al rápido avance de la tecnología en el día a día y al poco interés salarial en actualizar dichos equipos, que funcionan correctamente, pero que han sido superados por nueva maquinaria más completa.

El personal sanitario, comentó que este era el caso de dicho quirófano, por lo que, nos advirtieron, de que, posiblemente, el material que se viese allí, no se volvería a ver en ningún otro lado ni quirófano de cualquier tipo.

## **4. Descripción de la solución propuesta**

La solución final se divide en distintas partes, que se han ido describiendo por orden cronológico conforme se iban alcanzando. La primera sección está enfocada a la solución para el monitoreo de la variable BIS, esta sección se subdivide en 3 secciones referentes a la configuración del programa en LabVIEW, la implementación del programa en el quirófano y la mejora de los resultados obtenidos respectivamente. La segunda sección está dedicada a la máquina de constantes vitales, esta sección cuenta con un apartado en el que se trata la información referente a las distintas hipótesis barajadas y trabajadas. La última sección está enfocada en la conexión LAN a través de LabVIEW, a su vez, subdividida en 2 secciones, una para la conexión LAN entre 2 ordenadores y otra para la conexión LAN con una máquina no Windows.

### **4.1 Monitorización BIS en LabVIEW**

LabVIEW permite la posibilidad de adquirir, analizar y visualizar los datos del BIS en tiempo real, gracias al diseño de un programa para dicho fin. LabVIEW permite la comunicación con el monitor del BIS a través de interfaces de comunicación estándar, como RS-232 o Ethernet. Los programas desarrollados en LabVIEW pueden recibir los datos del BIS y otros parámetros médicos de manera continua, facilitando el monitoreo durante la operación.

Una vez adquiridos los datos del BIS, LabVIEW ofrece herramientas poderosas para el análisis de la señal. Esto incluye cálculo de estadísticas descriptivas, como el valor medio, la desviación estándar y los valores máximo y mínimo del BIS. Además, se pueden aplicar filtros para eliminar el ruido y mejorar la calidad de la señal.

LabVIEW proporciona una amplia gama de opciones de visualización para presentar los datos del BIS de manera clara y concisa. Algunas de las posibilidades incluyen, gráficos de tendencia; para mostrar la evolución del BIS a lo largo del tiempo, indicadores numéricos; para mostrar el valor actual del BIS, gráficos de barras o indicadores de agujas; para representar el nivel de conciencia del paciente, y alarmas visuales o sonoras que se pueden activar cuando el BIS se encuentra fuera de los límites predefinidos.

Además del BIS, LabVIEW permite la integración de otros parámetros, como pueden ser la frecuencia cardíaca, la presión arterial o la saturación de oxígeno. Esto facilita el análisis conjunto de todas las variables relevantes para evaluar el estado del paciente durante la anestesia.

LabVIEW ofrece la posibilidad de registrar los datos del BIS y otros parámetros en archivos para su posterior análisis o para crear registros anestésicos detallados. Esto es especialmente útil para la investigación clínica, la auditoría y la mejora de la calidad de la atención.

LabVIEW, en definitiva, proporciona una plataforma flexible y potente para monitorizar el BIS durante la anestesia. Su capacidad de adquirir, analizar y visualizar datos en tiempo real, junto

con su integración con otros parámetros, lo convierte en una herramienta valiosa para los anestesiólogos y los investigadores en el campo de la anestesia.

#### 4.1.1 Configuración del Programa en LabVIEW

Para configurar un programa en LabVIEW capaz de leer la variable BIS, primero se estableció la comunicación entre LabVIEW y el monitor BIS, a través de una interfaz de comunicación puerto-serie. LabVIEW proporciona herramientas para configurar y establecer la conexión con dispositivos externos, por lo que, utilizando dichos servicios además de otras funciones programables como bucles 'while', 'loops', 'timers' o convertidores de *string* en números enteros, entre otros, se procedió a la configuración del programa.

De esta manera, se configuró un programa en LabVIEW que fuera capaz de recibir datos a través de la conexión puerto-serie. Cabe destacar que, en LabVIEW se trabaja con 2 paneles, el diagrama de bloques y el panel frontal, cada uno de estos se asimila, respectivamente, a la parte del *back-end* y del *front-end* de cualquier proyecto de programación.

En este caso, la parte del *back-end* o diagrama de bloques diseñado a lo largo de este proyecto terminó con un aspecto como el que se puede observar en la Figura 6.

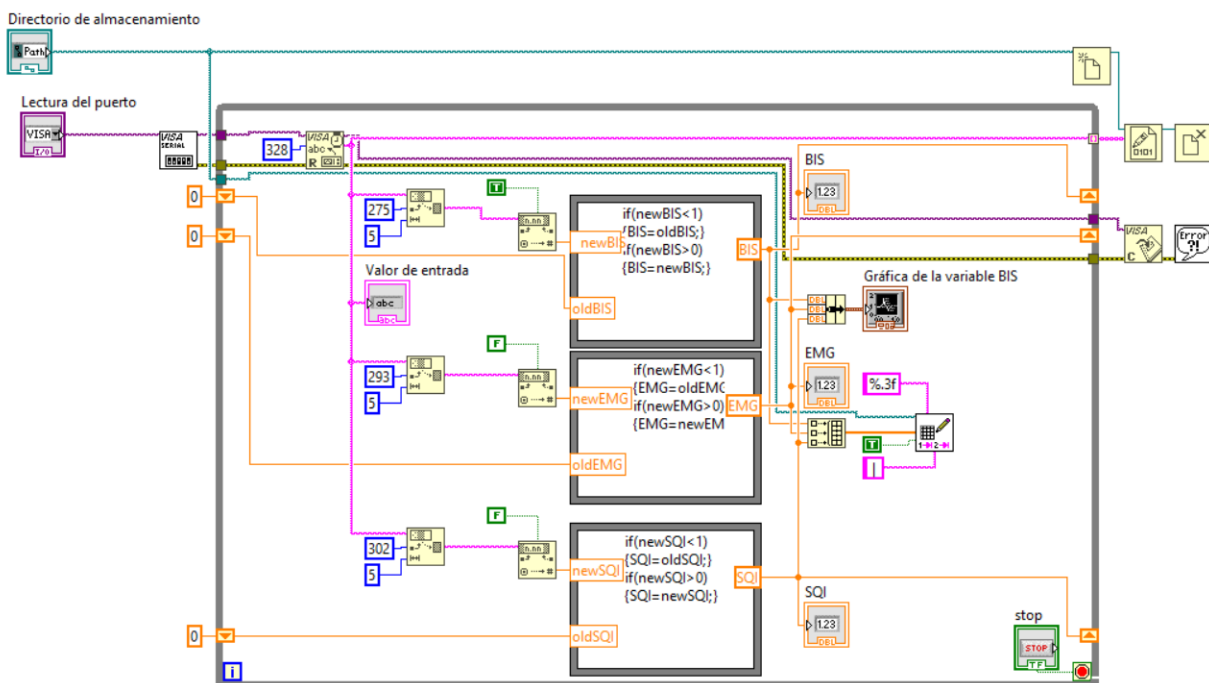


Figura 10. Configuración en LabVIEW del diagrama de bloques.

Las componentes más importantes a destacar del diagrama de bloques son:

- Componentes referentes al inicio de establecimiento de la conexión puerto-serie y almacenamiento de la información recibida.

- + VISA resource name: Componente que sirve de control para especificar el puerto por el que se quiere recibir la información. Normalmente, puerto COM4.
- + File path: Componente que sirve para especificar la dirección de la carpeta o archivo en el que almacenar la información captada.
  
- Bucle “while”: Componente identificada como un recuadro agrisado. Todo el código que se encuentre dentro de este recuadro se ejecutará de manera repetitiva hasta que se indique lo contrario.
  
- Componentes dentro del bucle “while”: La finalidad de este conjunto de componentes es seleccionar, de entre una cadena de caracteres recibida, los valores especificados, que hacen referencia a las variables BIS, Índice de Calidad de la Señal (SQI) y Electromiograma (EMG). También se encuentran componentes referentes a la parte de corrección de errores, que se explicará más adelante. Por último, encontramos las componentes referentes a la representación de las variables en gráficas.
  
- Control “Stop”: Componente referente a la finalización del programa, pulsar para detener.
  
- Componentes referentes a la generación de ficheros con el registro de los datos recibidos: “Open File”, “Write to binary file”, “Close file”: El proceso comienza con “Open file”, que crea o abre un archivo existente y devuelve un identificador de archivo. Luego, “Write to binary file” se utiliza para escribir datos en el archivo en formato binario, lo que permite almacenar información de manera compacta y eficiente. La estructura del archivo depende de cómo se organicen los datos escritos, pudiendo incluir cabeceras, metadatos o simplemente una secuencia de datos binarios. Los datos se almacenan en el orden en que se escriben, y pueden ser de diversos tipos, incluyendo números, cadenas de texto o estructuras de datos complejas. Finalmente, “Close file” se utiliza para cerrar el archivo y liberar los recursos del sistema. Esta secuencia de operaciones asegura que los datos se escriban correctamente y que el archivo se cierre de manera adecuada, previniendo la pérdida de información o la corrupción del archivo.

Esta configuración del diagrama de bloques daba como resultado un aspecto para el panel frontal tal como el que se observa en la Figura7.

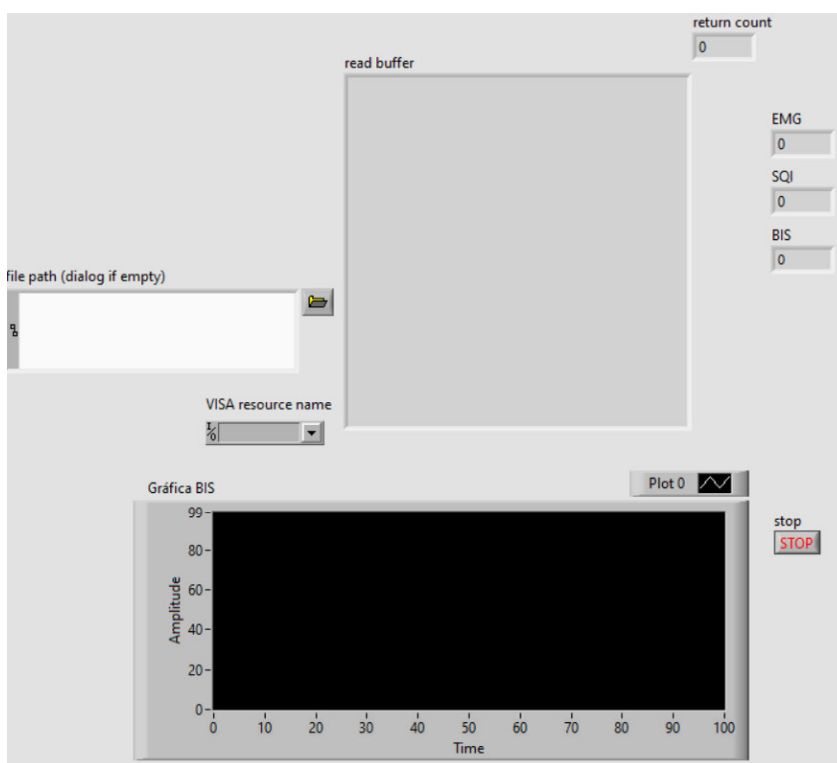


Figura 11. Aspecto en LabVIEW del panel frontal.

#### 4.1.2 Implementación en el Quirófano

Una vez en el quirófano, con la conexión puerto-serie establecida entre ordenador y máquina, y con el programa en LabVIEW correctamente configurado, se procedió a iniciar el programa durante una intervención quirúrgica. Los resultados obtenidos con este método fueron exitosos, recibiendo un *string*, es decir, una cadena de valores, que contenía, entre otras, la variable del BIS en su interior. Las variables EMG y SQI, también estaban contenidas en dicho *string*.

Tras un filtrado de los datos, se pudieron obtener la variable del BIS, EMG y SQI, actualizadas en intervalos de 5 segundos. No obstante, surgieron complicaciones durante la prueba, ya que, por razones que se desconocen, los datos recibidos traían contenido en blanco, es decir “*null*”, con una frecuencia aleatoria. Estos valores de ‘0’ cada cierto tiempo, daban un aspecto erróneo a la gráfica que representaba el BIS, y para solucionarlo, se procedió a añadir código en el diagrama de bloques que solventase este error.

Este código referente a la corrección de errores funcionaba de tal manera que, al recibir un valor nulo, el programa almacenaría, en vez de este valor nulo, el último valor óptimo, es decir, el último valor no nulo que hubiese sido leído. Por lo que todos los valores nulos eran sustituidos por valores correctos que, a pesar de no ser el valor exacto del BIS que mostraba el paciente en ese momento, es un valor bastante cercano, ya que es el valor que tenía el paciente 5 o 10 segundos atrás, y con el cual el anestesista puede trabajar.

### 4.1.3 Mejora Visual del Front-Panel

Una vez que se logró solucionar el error que impedía el correcto funcionamiento del sistema, se pudo generar una gráfica que permite obtener el valor del Índice Biespectral (BIS) de manera visual e intuitiva. Esta gráfica es crucial porque ofrece a los anestesiólogos una forma clara y rápida de interpretar el BIS, que es un indicador clave del nivel de conciencia del paciente durante una cirugía.

Con esta funcionalidad establecida, el siguiente paso fue utilizar las herramientas disponibles en LabVIEW para mejorar la presentación visual del panel de control. Se realizaron varias mejoras en el diseño del panel para que las gráficas se destacaran de forma más prominente. Esto se hizo con el objetivo de que los anestesiólogos pudieran enfocar su atención en la información más relevante para ellos, como los valores del BIS y otros indicadores críticos. Para lograrlo, se optimizó el tamaño, el color y el posicionamiento de las gráficas, de manera que los datos esenciales fueran más visibles y accesibles a primera vista. Además, se redujo la presencia de componentes técnicos y detalles que no son de interés directo durante una intervención quirúrgica, minimizando así el "ruido visual" que podría distraer al usuario.

Para evaluar la efectividad de estas mejoras y obtener retroalimentación directa de los usuarios finales, se llevaron a cabo varias encuestas utilizando *Google Forms*. Estas encuestas tenían como objetivo recoger las opiniones de los anestesiólogos respecto a la nueva interfaz y su utilidad en el entorno clínico. La participación en las encuestas fue facilitada a través de un contacto en el Hospital de Toledo, quien ayudó a distribuirlas entre los anestesiólogos de ese centro. Como resultado de esta difusión, se obtuvieron un total de 20 respuestas de anestesiólogos que trabajan en dicho hospital. Los comentarios y valoraciones proporcionados por los participantes fueron recopilados y analizados para ajustar y perfeccionar aún más el diseño del panel. Los resultados detallados de esta encuesta se presentan en la Figura 12, donde se resumen las preferencias y sugerencias de los anestesiólogos, proporcionando una base sólida para futuras mejoras en la interfaz.

¿En cuál de las anteriores pantallas te resulta más fácil leer los resultados de la gráfica?

20 respuestas

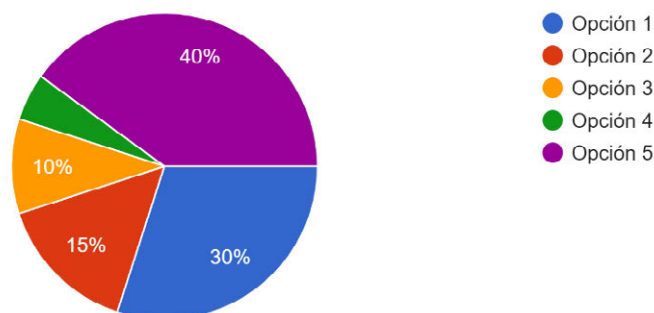


Figura 12. Resultados de las encuestas de Google Forms.

Siendo, las opciones más votadas, las opciones 1 y 5, que tenían, respectivamente, el siguiente aspecto (Figuras13 y 14):

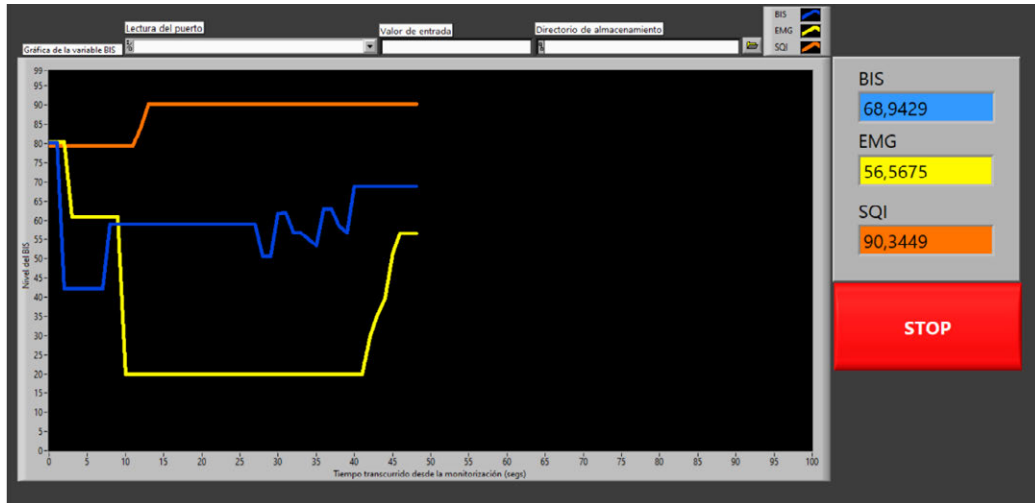


Figura 13. Opción 1 de la encuesta de Google Forms. La más votada.

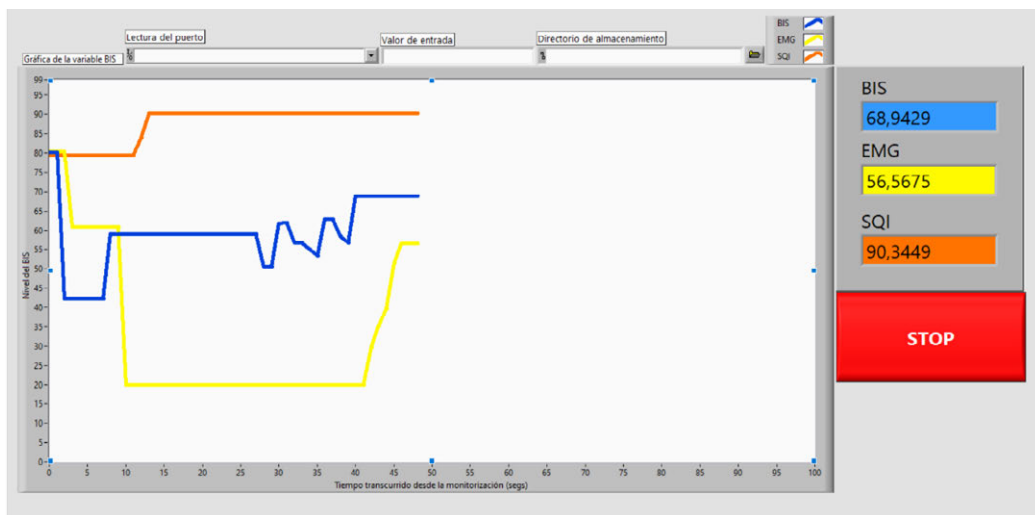


Figura 14. Opción 5 de la encuesta de Google Forms. La 2ª más votada.

Finalizado este proceso, finalizó también el rediseño del panel frontal, que pasaría a tener un aspecto visual como el visto en la Figura 14.

## **4.2 Monitorización de Constantes Vitales**

Para el monitor de constantes vitales, en un primer momento, se procedió de una manera similar a la de la máquina BIS, ya que ya éramos conocedores de esta metodología y había resultado exitosa anteriormente. Por lo que se probó la conexión puerto-serie, pero en esta ocasión, el desenlace no fue positivo. Con esta conexión, el programa en LabVIEW no era capaz de leer ni un solo dato, por lo que comenzaron a surgir las posibles hipótesis de porque no se recibían datos.

### **4.2.1 Pruebas sobre las Distintas Hipótesis**

Se barajaron 2 posibles causas, la primera podía ser que los datos estuvieran cifrados de manera automática, por el fabricante, y que, para visualizarlos, hubiera que aplicarles un descifrado específico. También se planteó que la máquina no tuviera configurado por defecto la exportación de datos a través de la salida DB9, y que pudiera exportarlos, por ejemplo, por la salida Ethernet o por una salida USB.

Para descartar la primera hipótesis, se procedió a abrir uno de los ficheros guardados durante la toma de datos. Al abrirlo como documento Excel se observaba que todas las celdas se encontraban vacías, sin embargo, al abrirlo como un bloc de notas se observaban líneas y párrafos de caracteres de aspecto extraño. Por lo que, haciendo una copia de dichos párrafos y plasmándolos en traductores gratuitos online de código hexadecimal, código binario, código octal, código base64 y código decimal se trató de obtener como resultado una cadena de valores o caracteres con significado. Lamentablemente, con ninguno de estos se obtuvo información valiosa.

Para descartar la segunda hipótesis, se diseñó un programa en LabVIEW que fuera capaz de leer datos a través de una conexión por cable LAN, es decir, cable Ethernet a USB. Fue necesario utilizar un adaptador de conexión LAN a USB.

Tras el descarte de ambas hipótesis, se procedió a investigar en foros especiales dedicados a la ciencia y la medicina. Se encontró información relevante sobre otros usuarios que habían tratado de establecer la misma conexión. En concreto, varios usuarios afirmaban que existía una manera de poder establecer dicha conexión. En este mismo hilo explicaban que para lograr la conexión era necesario utilizar 2 cables “null modem – usb” interconectados entre sí a través de un adaptador “DB9 Hembra – DB9 Macho”. Uno de los extremos USB debería de ir conectado al puerto USB4 del monitor de constantes vitales. El otro extremo USB se conectaría a cualquier puerto USB del ordenador. Tras el montaje, utilizando la aplicación “Vital Recorder” afirmaban que era posible visualizar los parámetros deseados del monitor en la pantalla del ordenador.

## **4.3 Conexión LAN en LabVIEW**

### **4.3.1 Conexión LAN entre Dos Ordenadores**

Al encontrar el problema descrito en el apartado 3.1 Conexión LAN en LabVIEW, se decidió que lo más lógico era dar varios pasos atrás, empezar a trabajar con comunicaciones más sencillas, con lo básico, para lograr una familiarización con la conexión LAN y adquirir experiencia con esta nueva conexión. Por lo que se procedió a probar una conexión vía Ethernet entre 2 ordenadores. Uno de ellos haría de cliente y el otro de servidor.

Para establecer esta conexión se utilizó un programa de la librería de ejemplos de LabVIEW, concretamente, se utilizó el programa denominado “Simple TCP/IP” que ya viene con un cliente y servidor implementados. Esta conexión entre 2 ordenadores funcionó de manera adecuada, además de conseguir una correcta comunicación entre ambos ordenadores vía Ethernet, también se probó una conexión vía Wi-Fi, para la que, ambos ordenadores estaban conectados a la misma red. Esta 2ª conexión via Wi-Fi entre ordenadores también resultó ser satisfactoria, por lo que se pasó a la fase de test con una máquina del laboratorio de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería y Sistemas de Telecomunicación (ETSIST).

### **4.3.2 Experimentación con máquina no Windows**

El objetivo a la hora de trabajar con un autómatas programable de la marca Allen Bradley que se encuentra en el laboratorio de Sistemas de Control de la escuela, era desarrollar las cualidades necesarias para establecer una comunicación con una máquina cuyo sistema operativo no fuera Windows. De esta manera, se adquiriría experiencia para trabajar en un futuro con la máquina de constantes vitales, que resulta ser una máquina cuyo sistema operativo no pertenece a Windows.

La conexión con la máquina del laboratorio resultaría más sencilla que con la de constantes vitales, ya que, en esta ocasión, el fabricante de dicha máquina ha proporcionado a sus usuarios una serie de drivers que, tras su instalación, permiten acceder a las distintas variables con las que trabaja la máquina, para poder trabajar con ellas en entornos específicos que permitan su uso, en el caso de este proyecto, en LabVIEW.

Para llevar a cabo esta conexión, se utilizó una conexión con servidor y cliente OPC (*OLE for Process Control*), consistente en un método estandarizado de comunicación en la industria de la automatización y control de procesos. En este sistema, el servidor OPC actúa como una interfaz entre los dispositivos de hardware (como sensores o máquinas) y las aplicaciones de software. El servidor OPC recopila datos de los dispositivos y los pone a disposición en un formato estandarizado. Por otro lado, el cliente OPC es una aplicación de software que se conecta al servidor OPC para leer o escribir datos. Esta arquitectura permite que diferentes aplicaciones y dispositivos de distintos fabricantes puedan comunicarse entre sí de manera eficiente y estandarizada. La conexión OPC facilita la integración de sistemas, mejora la

interoperabilidad y permite una monitorización y control más eficaces de los procesos industriales.

Para lograr una correcta conexión entre ordenador y autómatas programables fue necesario seguir los siguientes pasos:

1. Configurar un servidor OPC.
2. Configurar un cliente OPC.
3. En LabVIEW DSC, configurar servidor y cliente I/O.
4. Crear las variables compartidas "*Bound Variables*".

Para llevar a cabo esta integración de conexión OPC en LabVIEW fue necesario utilizar una extensión de esta aplicación llamada LabVIEW DSC (*Datalogging and Supervisory Control*). LabVIEW DSC es un módulo de software adicional para LabVIEW diseñado específicamente para aplicaciones de supervisión y control de procesos industriales a gran escala. Este módulo proporciona herramientas avanzadas para la adquisición, registro y visualización de datos en tiempo real, así como para el control de procesos distribuidos. Incluye características como la gestión de alarmas y eventos, tendencias históricas, seguridad de acceso a usuarios y la capacidad de crear interfaces de operador sofisticadas. Además, facilita la comunicación con una amplia gama de dispositivos industriales. Es particularmente útil en industrias como la de procesos, donde se requiere un monitoreo y control continuo de sistemas complejos.

Una vez configurados Servidor y Cliente OPCs, y creados el Servidor y el Cliente I/O, ya es posible visualizar en tiempo real los parámetros seleccionados del autómatas a través de LabVIEW.

Esto, deja la puerta abierta a la hora de obtener acceso a las variables de la máquina de constantes vitales, ya que, en caso de conseguir acceso a dichos drivers, se podría fácilmente establecer una comunicación exitosa. Para conseguir dichos drivers, se podría probar por la vía directa de contactar con los fabricantes para comunicarles nuestra situación. Los drivers son clave para la continuación de este proyecto, ya que pueden simplificar mucho el camino, resultando en ahorro de recursos y de tiempo. Existen diversas razones por las cuales estos drivers no sean públicos en la actualidad, la principal, puede ser que no esté en el interés del fabricante el proporcionar dicha información a terceros, por problemas de confidencialidad o simplemente miedo a desarrollar un sistema más novedoso que el que ellos ofrecen y eso en cierta manera pueda repercutir en sus ingresos anuales.

#### **4.4 Recogida de ficheros en HURYC**

En el quirófano animalario del HURYC, y una vez se obtuvo luz verde para empezar con las mediciones, se realizó el montaje de cables de la máquina al ordenador y se empezó a capturar información a través de la conexión puerto serie. Se configuró el programa de tal manera que la información leída fuese a su vez guardada en ficheros .xsl.

Tras varios minutos con el programa en ejecución, se pausaba el programa y se repetía el proceso con la siguiente máquina.

El almacenamiento de los ficheros tenía como finalidad, el poder trabajar con ellos en el entorno privado, en donde se dispondría de más tiempo para analizar y comprender la manera en la que estuviesen estructurados dichos datos, de esta manera no se tendría que analizar la información en un escenario menos propenso para dicho fin, como puede serlo un quirófano, en el que el ruido y las conversaciones son constantes.

#### **4.5 Finalidad del proyecto, aportaciones, problemas encontrados**

La finalidad del proyecto “Diseño y Montaje de una Red de Área Local (LAN) en Quirófano” era avanzar con el proceso de automatización de la anestesia mediante el montaje y conexión con las máquinas anestésicas principales en un quirófano. Esta conexión es necesaria para poder recibir datos en tiempo real de los parámetros más importantes que son monitorizados durante la anestesia y los cuales sirven de guía al anestesista para ayudar a decidir en la siguiente toma de decisión. Una vez recibidos esos datos en un ordenador, se tendría abierta la posibilidad, a través de la inteligencia artificial, de saber que cantidad de fármacos a utilizar en la siguiente fase es la más óptima. Para completar la automatización, será necesario enviar a las bombas de perfusión encargadas de suministrar los fármacos los nuevos valores de fármacos a aplicar calculados en el paso anterior. Las bombas deberán entonces ajustar la dosis según los valores recibidos, sustituyendo a la acción manual que realizan los anestesistas que consiste en modificar la dosis de fármacos a través de los botones con los que cuenta la bomba.

Las aportaciones a la línea principal de investigación realizadas en este proyecto son:

- El montaje y el establecimiento de una conexión con la máquina BIS VISTA ha sido conseguido, siendo posible recibir los datos más valiosos monitorizados por esta máquina.
- El montaje y el establecimiento de una conexión con la máquina de constantes vitales no ha sido conseguido. Pese a haber trabajado con distintos montajes de red y con diferentes tipos de conexión, no ha sido posible recibir datos monitorizados por esta máquina. Sin embargo, en la redacción de esta memoria quedarán reflejados los diferentes métodos que se probaron para tratar de lograr el objetivo. De tal manera que sirvan como información relevante para el siguiente estudiante.

Las soluciones diseñadas para alcanzar los objetivos han consistido en la programación de proyectos de LabVIEW capaces de establecer conexión con máquinas ajenas al ordenador y capaces de recibir la información monitorizada por estas. Además, se ha diseñado una interfaz gráfica de usuario intuitiva, fácil de leer y que simplifique la lectura de las variables principales.

En cuanto a los problemas no resueltos, queda pendiente de evolución el establecimiento de una conexión rápida y segura con la máquina de constantes vitales que sea capaz de recibir los datos monitorizados por esta máquina en tiempo real.

## **5. Resultados**

El proyecto ha logrado avances significativos en el camino hacia la automatización de la anestesia, aunque aún quedan desafíos por superar. Los principales resultados obtenidos son:

- Diseño y montaje exitoso de una red de área local (LAN) en un quirófano del Hospital Universitario Infanta Leonor (HUIL), permitiendo la comunicación entre algunas máquinas de anestesia y un ordenador.
- Desarrollo de programas en LabVIEW capaces de establecer comunicación con monitores anestésicos, adaptándose a las especificaciones técnicas de cada monitor.
- Implementación exitosa de la comunicación y visualización de datos para la máquina BIS Vista™, logrando mostrar variables principales como el Índice biespectral (BIS), electromiograma (EMG) e indicador de calidad de la señal (SQI).
- Creación de una interfaz gráfica de usuario (GUI) en LabVIEW para visualizar los datos recibidos del monitor de anestesia BIS Vista™ de manera práctica y ajustada a las preferencias de los anestesiistas.
- Identificación de desafíos en la comunicación con la máquina de constantes vitales, lo que llevó a la exploración de métodos alternativos y la documentación de los caminos descartados para futuras investigaciones.
- Adquisición de conocimientos técnicos sobre redes, comunicaciones y aplicaciones específicas como LabVIEW, así como conocimientos básicos sobre anestesia y tecnología clínica aplicada.
- Experiencia práctica en un quirófano animalario del Hospital Universitario Ramón y Cajal (HURYC), proporcionando información valiosa para la investigación y desarrollo de sistemas automatizados de anestesia.

Estos resultados representan un paso significativo hacia el desarrollo de un sistema de anestesia de lazo cerrado, aunque también han puesto de manifiesto los desafíos técnicos y prácticos que aún deben superarse para lograr una automatización completa de la anestesia.

### **5.1 Resultados BIS**

Para la conexión con el monitor BIS VISTA se debe utilizar un cable serial RS232 también conocido como DB9 macho, como el mostrado a continuación en la Figura 15. El extremo USB se conectará al ordenador y el extremo restante se conectará a la parte posterior del monitor.



**Figura 15: Cable serial RS232 para la conexión entre ordenador y monitor BIS VISTA.**

El método implementado en el quirófano permitió la obtención de las variables BIS, EMG y SQI actualizadas cada 5 segundos. Los problemas con los valores nulos fueron solucionados, y el panel frontal mejorado resultó en una herramienta útil y visualmente clara para los anestesistas.

El resultado final, además de la interfaz de usuario de LabVIEW, consiste en la generación de un fichero en el que se almacenan las variables BIS, EMG y SQI en intervalos de 5 segundos. Estos datos son almacenados en un fichero Excel y cada intervalo es almacenado en distintas celdas de una misma columna. Las variables BIS, EMG y SQI vienen delimitadas por un separador "|". Este fichero, se guardará automáticamente en el equipo al finalizar la ejecución del programa en LabVIEW. A modo de ejemplo se adjunta a continuación en la Figura 16 una captura de pantalla del contenido de uno de estos ficheros.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
4	47.000	38.000	41.000								
5	48.000	37.000	41.000								
6	44.000	35.000	41.000								
7	45.000	38.000	42.000								
8	45.000	35.000	41.000								
9	48.000	38.000	42.000								
10	48.000	38.000	41.000								
11	48.000	36.000	39.000								
12	48.000	35.000	40.000								
13	48.000	37.000	40.000								
14	44.000	36.000	42.000								
15	46.000	36.000	39.000								
16	46.000	36.000	39.000								
17	48.000	36.000	42.000								
18	48.000	38.000	42.000								
19	45.000	36.000	39.000								
20	45.000	35.000	42.000								
21	44.000	38.000	41.000								
22	44.000	37.000	39.000								
23	47.000	37.000	42.000								
24	47.000	37.000	42.000								
25	45.000	37.000	42.000								
26	48.000	37.000	42.000								
27	47.000	35.000	41.000								
28	44.000	37.000	42.000								
29	46.000	38.000	42.000								
30	45.000	38.000	41.000								
31	45.000	36.000	42.000								

Figura 16: Contenido del fichero tras la ejecución del programa en LabVIEW.

En la Figura 16 podemos observar las variables BIS, SQI y EMG respectivamente delimitadas por “|” a lo largo de un número de filas, este número de filas será mayor o menor dependiendo de la duración en la que se haya ejecutado el programa, a más tiempo de ejecución mayor número de filas. El margen de tiempo transcurrido entre el registro de unos valores y el registro de los siguientes es de 5 segundos.

## 5.2 Resultados Constantes vitales

Las pruebas iniciales con puerto-serie no lograron captar datos. Sin embargo, se avanzó en la conexión LAN, aunque los resultados finales y las pruebas de este método todavía están en desarrollo.

El primer intento para establecer esta conexión se hizo utilizando un cable Serial RS232, como el mostrado anteriormente en la Figura 15, conectando el extremo USB al ordenador y el extremo opuesto al puerto de salida DB9 del monitor de constantes vitales mostrado en la Figura 5. Utilizando un programa similar al utilizado para el monitor BIS VISTA en esta ocasión no se recibían datos correctos, si no que, con una frecuencia aleatoria se recibían mensajes de error acompañados de caracteres indescifrables. Estos caracteres también eran almacenados en ficheros con el fin de tener la posibilidad de realizar un estudio y análisis posterior. A modo de ejemplo se muestra el contenido de uno de estos ficheros en la Figura 17.

```
Archivo Editar Ver
}
Fq-áÁvÖöÖöGJy(v%*«," jKÉβ#FÓñD±@İ.W@ @¥@+@="™ZÆMYpbø@ÖBSít°·7
?~9LiÖ™@ÈsbgÜ®|Èl!öü@Ush9i°bZr:"y_d1ÁóD>¿@ÿ|-NæÈR"4@ø2ÍGç% ö@Z´4ñÈ
Ä±ÜXmUNðf@æ
ðäÜwq%èlñCDã]Áfó'@à´~@Üvívópâ
+@”«•ö@*¶ dxr"VN `d <#à°b-Q`~sZ°..Ná4Á.!@@@ç´@([i>Æh,ñú±@GÜ²,`8i@\
öEx@dYqpóÿšö^@pðn³@É´æ@i´·!X@NâG@EG@Pññ$Á
~
fzò¹@ÿ@
íe)øé2@ÖZYX#sde, ,àçB&,A
9@”%~=@>zš÷ Éç@Íx@é%+>+,,ÁkÁZ@rôäyà@C
{2r@ÉP@m@šòpç l@@@O;rqòòì@èg•pz,,y-gelšüfæHí}>âï_æ!6†,à$F¥"ý)ÈÜiFc_
ß@áòRðÁ,βæ ã@ð6lú@"8\ù´ÁL\.*B@pÉ@t,dÁ2Yt´fÜçUn
ö@ø@È@òä%É_TÍ@!â«2%ç“ÚDðãw”?@ ÿÿ@ PK@@
! ÿÿÿ9@ 9@ @ [trash]/0000.datÿÿÿÿ
PK@@@ @ @ ! @#Úpà -@ @ xl/_rels/workbook.xml.rels-‘ÉjÁ0@E÷...}
¥”ÈÜ”B¶Áý !@@Ä-,f’ò@_á,ÿ@H6Ü@@@Ys$mw?ã N@¹÷NC‘á ÈY_÷°ÖðU}<½,b1°6fw@
Æ@LK,Éó@Ëÿ; <èTûZCÜxĬ @) $òínß4%¥wo@#9¹€@-iH@P•%-‰†¿æ%GÄÈøÍ=ñ’ž..Vú@
```

Figura 17: Captura de un fichero recogido con conexión serial entre ordenador y monitor de constantes vitales

Como alternativa a la conexión anterior, se probó una conexión LAN/Ethernet, a través de un cable LAN como el mostrado en la Figura 18 junto con un adaptador LAN – USB como el mostrado en la Figura 19 para poder conectarlo a uno de los puertos USB del ordenador. Uno de los extremos del cable Ethernet iría conectado a la salida Ethernet del monitor de constantes vitales y el otro pasaría por el adaptador para posteriormente conectar el extremo USB al ordenador.



Figura 18: Cable Ethernet utilizado para la conexión LAN.



Figura 19: Adaptador LAN - USB utilizado para la conexión LAN.

Esta conexión no produjo ningún efecto a nivel de recepción de datos, se obtuvo un “silencio en la recepción”. En los ficheros almacenados no se almacenó ni un solo carácter.

Por último, se probó con la conexión vista en foros científicos que permitía recibir datos de monitores anestésicos en la aplicación VS Capture. Para esta conexión, explicaban, era necesario utilizar un cable Serial RS232 como el de la Figura 15, que se conectaría a un adaptador *Null Modem* como el que se observa en la Figura 20 que permite conectar entre sí 2 extremos DB9 similares. El extremo DB9 al que se conecta la otra cara del adaptador forma parte de un cable DB9 – DB9 como el visto en la Figura 21, y el extremo DB9 restante de este cable estaría conectado a la salida DB9 del monitor de constantes vitales mostrado en la Figura 5.



Figura 20: Adaptador Null Modem.



Figura 21: Cable DB9 - DB9.

### 5.3 Resultados animalario

Para los monitores se utilizaron conexiones similares a las anteriormente descritas. Los resultados de los ficheros obtenidos, fueron cadenas de caracteres extraños, con siluetas confusas, de manera que su lectura y comprensión era inviable. Se trató entonces, mediante traductores de código online, intentar dar a este contenido un aspecto entendible, sin resultados concluyentes.

Estos ficheros, eran indescifrables, si se procedía a abrirlos con un lector de archivos estándar como bloc de notas o Notepad++. Pero si se procedía a abrirlos con extensión .WinRAR, se obtenía una estructura jerárquica de carpetas. Aunque todavía vacías, este escenario dejaba la posibilidad abierta a que, con una medición más larga en el tiempo, se pudieran empezar a observar valores en las distintas carpetas.

Se procedió a realizar dicha captura de tráfico, esta vez con un tiempo más largo, de 15 minutos. Los resultados fueron idénticos a los anteriores. Lo que dejaba entre ver que la información almacenada en dichos ficheros no estaba relacionada con la cantidad de tiempo que habían sido ejecutados, lo que descartaba la posibilidad de que estuvieran relacionados con las variables en tiempo real que debería de estar compartiendo la máquina. De haber sido así, los ficheros habrían ido creciendo a medida que aumentaba el tiempo de almacenamiento de datos, pero no era el caso.

Más adelante, se descubrió que el contenido de estos ficheros es creado, de manera automática, por LabVIEW, y no por la máquina de anestesia, como se llegó a pensar en un principio. Esto fue posible saberlo ya que, se realizó una prueba en la que, sin estar conectados a una máquina, se iniciaría un programa en LabVIEW que almacenara los datos leídos cada cierto margen de tiempo, al no haber conectada ninguna máquina, no debía de leer ningún dato por lo que tampoco debía de almacenar ningún tipo de información. Cuando se abrió este fichero asociado a esta prueba, el código interno mostraba una estructura similar a la mencionada anteriormente con los ficheros del HURYC, lo que terminó por confirmar, que dichas carpetas no estaban relacionadas con la máquina a la que se estuviera conectado en dicho momento.

## **5.4 Discusión de los resultados**

El desarrollo de este proyecto ha enfrentado diversas limitaciones y desafíos que han influido en su alcance y resultados. A continuación, se detallan los principales aspectos:

Algunas limitaciones técnicas y de acceso han sido provocadas por el equipamiento específico a utilizar, por la ausencia de estándares universales y por el acceso al código interno:

- El proyecto se ha visto restringido al uso de equipos de dos hospitales concretos: uno para quirófanos humanos y otro para experimentación animal. Esta limitación ha condicionado el tipo de tecnología disponible, ya que otros centros hospitalarios podrían ofrecer equipos de diferentes fabricantes, lo que potencialmente ampliaría la variedad de monitores y fabricantes.
- La falta de compatibilidad entre equipos de diferentes marcas ha dificultado la comunicación entre los distintos dispositivos. Esta división tecnológica ha supuesto un obstáculo significativo para la implementación de soluciones más universales.
- Los fabricantes de máquinas anestésicas son reacios a compartir información sobre el código interno de sus equipos, lo que ha complicado la tarea para acceder a estos sistemas.

A medida que el proyecto transcurría se han encontrado distintos desafíos en la implementación, como la complejidad del entorno quirúrgico.

La naturaleza multivariable del monitoreo anestésico, que requiere la atención constante y personalizada del anestesista, ha dificultado la automatización completa del proceso.

A pesar de las limitaciones mencionadas, muchos aspectos han funcionado de manera exitosa, como pueden ser:

- Montaje de una red LAN en un quirófano del Hospital Universitario Infanta Leonor, permitiendo la comunicación entre el monitor BIS Vista y un ordenador.
- Diseño de un proyecto efectivo dentro de la aplicación LabVIEW para establecer comunicación con el monitor BIS Vista y diseñar una interfaz gráfica práctica para visualizar los datos recibidos.
- Adquisición de conocimientos técnicos sobre redes, comunicaciones y aplicaciones específicas, así como conocimientos básicos sobre anestesia.
- Desarrollo de habilidades de comunicación, trabajo en equipo y resolución de problemas a lo largo del proyecto.

Para terminar, algunas áreas de mejora en las que aún queda trabajo por hacer serían:

Presentación de datos del BIS: La encuesta utilizada para recopilar datos sobre el Índice Biespectral (BIS) ha resultado limitada. Se podría mejorar la presentación de estos datos mediante:

- Visualizaciones interactivas que muestren la evolución del BIS en tiempo real.

## *Resultados*

---

- Análisis estadísticos más detallados que correlacionen el BIS con otras variables anestésicas.
- Implementación de técnicas de aprendizaje automático para predecir tendencias del BIS basadas en datos históricos.

Para futuros desarrollos, será crucial abordar la estandarización de equipos, mejorar la colaboración con fabricantes y ampliar la base de hospitales participantes para obtener una visión más completa y diversa del campo de la anestesia automatizada.

## 6. Presupuesto

El presupuesto necesario para el desarrollo del proyecto queda reflejado en la Figura 24, mostrada a continuación.

Figura 22: Desglose de presupuesto. Fuente: Elaboración propia.

Presupuesto	Precio (€)	
<b>Licencias</b>		
LabVIEW Básica	536 €	
<b>Materiales</b>		
Cable USB-DB9	21 €	
Cable DB9-DB9	23 €	
Adaptador Null-Modem DB9-H/H	6 €	
Cable Ethernet	4 €	
Adaptador Ethernet-USB	12 €	
<b>Horas de trabajo</b>		
Total de horas	Coste/hora	Total
300	15 €	4,500 €
<b>PRESUPUESTO TOTAL</b>	<b>5,102 €</b>	

El número de horas ha sido calculado en base al número de créditos asociados al PFG (12 ECTS) y el número de horas por crédito (25 hs/1 ECT).

Los precios anotados son los precios con el Impuesto al Valor Agregado (IVA) ya incluido. El origen de información sobre el precio de cada producto queda mostrado a continuación:

1. Licencia LabVIEW Básica: <https://www.ni.com/es/shop/labview/select-edition>
2. Cable USB-DB9: <https://www.startech.com/es-eu/tarjetas-perifericos/icusb232sm3>
3. Cable DB9-DB9: <https://www.amazon.es/StarTech-com-Crossover>
4. Adaptador Null Modem DB9 H/H: <https://www.amazon.es/CABLEPELADO-Adaptador-Cambiador>
5. Cable Ethernet: <https://www.amazon.es/AmazonBasics-Cable-Ethernet>
6. Adaptador Ethernet-USB: <https://www.amazon.es/Adaptador-Ethernet>

## **7. Impacto del proyecto**

La creación de este proyecto conlleva una serie de impactos significativos en varios aspectos.

La implementación del programa descrito en LabVIEW permitirá a los anestesiólogos monitorear de manera eficiente las variables anestésicas, lo que mejorará la atención al paciente y reducirá el riesgo de complicaciones durante y después de la anestesia, reduciendo el riesgo de errores humanos, lo que es crucial en un entorno quirúrgico donde la precisión y la seguridad son esenciales.

La capacidad de monitorear variables anestésicas en tiempo real permitirá a los anestesiólogos reaccionar rápidamente en caso de cambios en el estado del paciente, mejorando así la seguridad del paciente durante la anestesia.

La automatización del monitoreo de las variables mediante el programa en LabVIEW puede también reducir el consumo de recursos, como papel, tinta o fármacos.

La reducción del consumo de estos recursos disminuirá el impacto ambiental del proyecto.

La automatización del monitoreo de variables mediante el programa en LabVIEW puede reducir los costos operativos, ya que podría darse el caso de no necesitar personal adicional para vigilar las variables manualmente.

La automatización del monitoreo de variables mejorará la eficiencia en el quirófano, permitiendo a los anestesiólogos dedicar más tiempo a la atención al paciente y MENOS a la toma de decisiones clínicas sobre los protocolos de administración de medicamentos.

La creación de este programa en LabVIEW puede impulsar el desarrollo de nuevas tecnologías en el campo de la anestesia, ya que puede servir como ejemplo de innovación en la industria de la anestesia, inspirando a otros desarrolladores a crear soluciones similares que mejoren la atención al paciente.

En resumen, el proyecto de crear un programa en LabVIEW que lea las variables de las máquinas de anestesia tiene un impacto significativo en varios aspectos, mejorando la atención al paciente, reduciendo el riesgo de errores y complicaciones, y promoviendo la innovación en la industria de la anestesia.

## **8. Conclusiones**

### **8.1 Conclusiones**

El proyecto permitió desarrollar un sistema robusto y eficiente para monitorizar la variable BIS en el quirófano, solucionando problemas críticos de datos nulos y mejorando significativamente la interfaz visual para los anestesiistas. Para la conexión entre el ordenador y el monitor BIS VISTA, se utilizó un cable serial RS232 (DB9 macho), que garantiza una comunicación estable y continua, con el extremo USB conectado al ordenador y el extremo restante al monitor de anestesia. A través de esta conexión y utilizando LabVIEW, se configuró un programa capaz de recibir y procesar las variables BIS, EMG y SQI cada 5 segundos, almacenándolas en un fichero Excel con delimitadores para un análisis estructurado posterior. Este enfoque no solo permitió resolver los problemas de valores nulos mediante la sustitución automática de los datos erróneos con el último valor válido, sino que también mejoró la precisión y utilidad del sistema de monitorización. La interfaz de usuario de LabVIEW fue optimizada para proporcionar a los anestesiistas una herramienta visual clara e intuitiva, permitiendo una interpretación rápida y eficaz del estado del paciente durante las intervenciones quirúrgicas. Además, se diseñó una serie de gráficos y alarmas personalizables que hacen que la visualización del BIS y otros parámetros críticos sea más accesible y relevante, adaptándose a las necesidades clínicas específicas del quirófano.

Las pruebas con la máquina de constantes vitales mostraron la necesidad de explorar diferentes métodos de conexión y descifrado de datos. A pesar de no haber logrado establecer una comunicación entre ordenador y máquina, se han descartado varios caminos erróneos que han quedado reflejados en este proyecto.

Para terminar, se puede concluir que LabVIEW es la herramienta ideal para establecer comunicación entre un ordenador y máquinas de anestesia en quirófanos debido a su capacidad para integrar diversos métodos de comunicación de manera eficiente y segura. Esta plataforma permite implementar protocolos de comunicación como TCP/IP, conexión serial, LAN o Ethernet, garantizando la flexibilidad necesaria para adaptarse a diferentes requisitos técnicos y de infraestructura de los equipos médicos. Además, su entorno gráfico facilita el desarrollo de interfaces de usuario intuitivas y personalizadas, lo que es crucial para operaciones críticas como las que se realizan en entornos quirúrgicos. LabVIEW también permite una rápida implementación y pruebas de sistemas de comunicación, minimizando el tiempo de desarrollo y reduciendo posibles errores. Su capacidad de integración con hardware y software de terceros asegura la interoperabilidad entre diversos dispositivos, mejorando la confiabilidad y eficiencia en la gestión y monitoreo de equipos de anestesia, lo cual es fundamental para garantizar la seguridad del paciente.

## **8.2 Trabajos futuros**

Es necesario continuar explorando y optimizando la conexión LAN para la máquina de constantes vitales, así como asegurar la obtención de los drivers adecuados para lograr una integración exitosa con el sistema de monitorización. Para ello, se recomienda profundizar en la colaboración con los fabricantes, con el fin de acceder a información técnica detallada y crucial para el desarrollo del proyecto.

Existen varias opciones a considerar para avanzar en este proyecto. Una de ellas es familiarizarse con aplicaciones web como VitalRecorder [10] y VS Capture [11], desarrolladas por usuarios con el objetivo de simplificar la comunicación entre el ordenador y las máquinas de anestesia, permitiendo la visualización de diversas variables monitorizadas. Aunque estas aplicaciones no han mostrado resultados óptimos en el contexto actual del proyecto, es posible que esto se deba al uso de cables inapropiados o desactualizados. Por lo tanto, se recomienda investigar la adquisición de cables que maximicen las posibilidades de éxito en la integración.

Adicionalmente, se considera relevante establecer contacto directo con los fabricantes para evaluar la posibilidad de acceder a los monitores bajo su supervisión o asistencia técnica. Es fundamental que los fabricantes confirmen cuál es el puerto de salida asignado para la exportación de datos en la máquina de constantes vitales, ya que la documentación disponible no lo especifica claramente y las discusiones en foros de internet sugieren que esta configuración podría variar.

## 9. Referencias

Bibliografías:

- [1]. Máquina de Anestesia. (2023, 7 de noviembre). SIGEM. <https://www.sigem-uv.cl/wiki/doku.php/maquina-anestesia>.
- [2]. Beaulieu, P., Nathan-Denizot, N., & Feiss, P. (2013). Aparatos de anestesia. ScienceDirect. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1280470313658338>.
- [3]. Utilización de Maquinas de Anestesia para ventilar pacientes por tiempo prolongado. (s.f.). Sociedad Argentina de Anestesia, Analgesia y Reanimación. <https://www.anestesia.org>
- [4]. Bibliografía - SEDAR. (s.f.). Sociedad Española de Anestesiología, Reanimación y Terapéutica del Dolor (SEDAR). <https://www.sedar.es>
- [5]. Maquinas de anestesia. (2018, 4 de enero). SlideShare. <https://www.slideshare.net/slideshow/maquinas-de-anestesia-85738644/85738644>.
- [6]. Maquinas para anestesia. SlideShare. <https://www.slideshare.net/slideshow/maquinas-de-anestesia-85738644/85738644>.
- [7]. Anestesia total intravenosa en un sistema de lazo cerrado. ResearchGate. [https://www.researchgate.net/figure/BIS-medido-versus-concentracion-de-propofol-en-sitio-efectivo-durante-el-procedimiento\\_fig2\\_259096714](https://www.researchgate.net/figure/BIS-medido-versus-concentracion-de-propofol-en-sitio-efectivo-durante-el-procedimiento_fig2_259096714).
- [8]. National Instruments. <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA03q000000YIFMCA4&l=es-ES>.
- [9]. Ghailan, G. M. (s.f.). Monitorización del nivel de conciencia durante la anestesia. Universidad Politécnica de Madrid. [https://oa.upm.es/63418/1/TFG\\_MORAD\\_GHAILLANE\\_GHAILAN.pdf](https://oa.upm.es/63418/1/TFG_MORAD_GHAILLANE_GHAILAN.pdf).
- [10]. Vital Recorder. (s.f.). VitalDB. <https://vitaldb.net/vital-recorder/>.
- [11]. SourceForge. <https://sourceforge.net/projects/vscaptu>.