

Caracterización tecnológica para el diseño de servicios de telemedicina destinada a señales electrocardiográficas

Puerto G. Luis F¹
Torres P. Nelson A²
López C. Pedro N³

Resumen—Este artículo muestra una caracterización tecnológica, para el diseño del servicio de telemedicina, sobre la red de datos, para transporte de señales con contenido electrocardiográfico (ECG). Se establecieron las recomendaciones para hacer factible el diseño de una red para el servicio de telemedicina. Además, se evaluaron las pautas y parámetros necesarios que los sistemas de red de datos en los centros de salud deben poseer, considerando los aspectos técnicos para la adecuada transmisión de señales electrocardiográficas.

Palabras clave —señal electrocardiográfica, telemedicina, cardiología, ADSL, transmisión de datos, red de acceso.

Abstract— this paper shows a technological characterization, for the design of the telemedicine service, on the data network, for the transport of signals with electrocardiographic content (ECG). Recommendations were made to make feasible the design of a network for the telemedicine service. In addition, we evaluated the guidelines and parameters that data network systems in health centers should have, considering the technical aspects for the proper transmission of electrocardiographic signals.

Index terms — electrocardiographic signal, telemedicine, cardiology, ADSL, data transmission, access network

¹ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo electrónico: luisfelipe.puerto@uptc.edu.co

² Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo electrónico: nelsonalexis.torres@uptc.edu.co

³ Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Correo electrónico: pedronel.lopez@uptc.edu.co

I. INTRODUCCION

El campo de la salud es, sin duda alguna, un ambiente investigativo para el desarrollo de nuevas estrategias tecnológicas de información y comunicación, que permitan lograr una asistencia oportuna para los pacientes en general, que presenten algún tipo de patología, ya sea en centros hospitalarios, entidades de salud o en sus propios hogares. Teniendo en cuenta, que la salud es uno de los factores más incidentes en el desarrollo social, y dada la falta en muchas ocasiones deservicios tanto médico-asistenciales como médico-hospitalarios, la telemedicina se ha proyectado como una de las disciplinas con mayor desarrollo en Latinoamérica, en países como Brasil, Ecuador y recientemente en Colombia

La telemedicina puede ser definida como la provisión del cuidado de la salud a través de una combinación de las telecomunicaciones y las tecnologías multimedia con médicos expertos. Según su aplicación, algunos de los servicios tele- médicos que más se utilizan son: tele-consulta, tele- diagnóstico y tele-asistencia, siendo este último el servicio que más importancia tiene en la salud de los pacientes [2]. Las enfermedades cardiovasculares han aumentado drásticamente, en los cuales muchas veces, trastornos cardiacos que son relativamente tratables, son los causantes de las muertes en centros clínicos por factores como las distancias entre los lugares y la falta de asistencia médica inmediata [3]. En varias regiones del país, tanto las redes hospitalarias, como los dispositivos electromédicos se encuentran subutilizados; Según estudios realizados por el ministerio de salud y protección social [4].

En este artículo, se realiza una caracterización de un servicio de telemedicina con el ánimo de establecer ciertas recomendaciones, para tenerse en cuenta al momento de implementar un servicio de este tipo en centros médico- hospitalarios. Es necesario recalcar que, en algunos casos, los servicios de telemedicina no podrán diseñarse e implementarse de manera completa debido a que se encuentran establecidos niveles de complejidad con sus respectivas políticas de implementación técnica y de servicios médicos.

II. CARACTERIZACIÓN GENERAL DE UN SERVICIO DE TELEMEDICINA

Antes de definir ciertas cuestiones relacionadas con aspectos técnicos del servicio de telemedicina, se debe tener en cuenta algunos parámetros relacionados, tanto a los medios de transmisión; como a la información que se intercambia, debido a que, para este caso, la transmisión de señales ECG requieren ciertos estándares para lograr un buen monitoreo.

A. Información

Al clasificar los servicios de telemedicina según el área de aplicación en la salud, se ve

necesario saber qué tipo de información se desea transmitir, ya que este debe ser el primer parámetro a tener en cuenta en la caracterización de un servicio de telemedicina.

Los servicios de telemedicina pueden necesitar transmitir uno o varios tipos de información a través del mismo medio de transmisión, y es por ello que, a la hora de realizar una caracterización en concreto, como en este caso, para transporte de señales electrocardiográficas, debe existir un análisis sobre los medios de transmisión aptos para el uso de este servicio.

1) Audio: La transmisión de audio es útil, en muchos casos, en el momento de realizar un servicio de teleasistencia, en el cual se encuentra un operador en el lado del proveedor de servicios de salud. También puede ser indispensable en las consultas médicas, debido a que, por este medio, se puede asegurar unas buenas condiciones de confidencialidad en la llamada que en una red pública no siempre puede estar presente.

Para la transmisión de audio se debe asegurar que no haya cortes o interferencias, ya que es necesario que los participantes de la conversación, entiendan claramente la información.

2) Video: Este tipo de información es uno de los más usados en la mayoría de los servicios de telemedicina actuales.

En los casos más usados se encuentra la telecirugía, el telediagnóstico y la teleeducación, aunque no en todos los casos se requiere la misma calidad de video y por este motivo su problemática particular (latencia, velocidad, etc.), le impone un uso más o menos restrictivo [5].

3) Datos: Este tipo de información es el caso más habitual para los servicios de telemedicina, tanto en la transmisión de resultados entre hospitales, historias clínicas, datos fisiológicos desde la ubicación del paciente, correo electrónico, imágenes, etc.

Para la transmisión de señales ECG, ecocardiograma (2D, 3D, fijas, dinámicas), Angiografía, NM, RM y sonidos cardíacos (tele cardiología), se encuentran catalogados como datos y es necesario reconocer que el requisito consiste en un envío periódico de señal por la red [5]. Pero, este tipo de información es más restrictivo, a comparación de otro tipo de datos (por ejemplo, el envío de historiales clínicos a un servidor), sin ser menos restrictivo que la transmisión de video o audio.

B. Fiabilidad

Para los servicios de telemedicina, es necesario que la conexión por la que debe prestarse tenga la debida fiabilidad dependiendo del tipo de servicio. Esto se puede observar en un servicio de urgencias, donde se necesite enviar información del estado de un paciente aun especialista; o en entornos rurales con servicios de salud de nivel básico [4], o desplazando un paciente en

estado grave por ambulancia.

Además, se debe asegurar la redundancia de enlaces, equipos de terminales para evitar cualquier fallo de sistema [6], e incluiría dos o más conexiones a diferentes proveedores de red.

Para esto, es adecuado proponer la siguiente clasificación para determinar su fiabilidad:

1) *Fiabilidad Baja*: Para este caso no sería necesario un envío fiable de la información.

2) *Fiabilidad Alta*: En este caso, la información a transmitir no debe contener ningún error o estar alterada, las líneas de transmisión deben estar dispuestas a asegurar estas condiciones.

Especialmente si hablamos de señales ECG ya que, si existe un error en alguno de los parámetros de la señal, puede hacer que los médicos tomen decisiones erróneas.

C. Disponibilidad

Aunque siempre se pretende tener máxima disponibilidad, hay que entender que hay situaciones en las que no siempre va a ser posible. Como un apagón, obras en general que corten con las líneas de comunicación o catástrofes naturales que afecten cualquier parte de la topología de red.

Por lo tanto, para asegurar esta disponibilidad máxima, se realiza un análisis en el cual se puede dividir en la siguiente clasificación:

1) *Disponibilidad crítica*: En esta situación, se debe asegurar que el servicio de telemedicina esté disponible un 100 por ciento, debido a que será destinado a servicios de urgencia o vigilancia de pacientes en estado crítico y por esto no debe cortarse en ningún momento.

2) *Disponibilidad no crítica*: En este caso, por la información que se tiene que transmitir, no es considerada como crítica.

D. Confidencialidad:

La mayor preocupación de los pacientes, los médicos, los especialistas y las entidades desaluden general, es la seguridad de la información que va por la red de telemedicina, debido a que, esta puede ser interceptada, modificada o revelada agente ajena, sabiendo que esta solamente les importa a los médicos, los especialistas y a los pacientes.

Las necesidades de seguridad dependen del tipo de servicio, sin embargo, hay servicios que no transmiten información confidencial, hay que aclarar que este parámetro no tendría una gran importancia, pero debido a que, si se habla específicamente de señales e imágenes con contenido ECG, es necesario implementar una política de seguridad, la cual se puede clasificar en más niveles dependiendo del grado de importancia de la información en un centro de

salud de complejidad de acuerdo a la resolución 5261 de 1994[7]:

1) *Confidencialidad cero o nula*: El servicio de telemedicina no realizara envío de información confidencial.

2) *Confidencialidad baja*: En este caso, la información transmitida no presenta mayores problemas si solo se encripta los datos generales de la persona, como puede ser en la transmisión de señales ECG, donde sí se encripta por ejemplo, solo el nombre del paciente y el número de cedula o la información del seguro médico, la información de la señal no será relevante para gente ajena.

3) *Confidencialidad alta*: En los servicios de telemedicina que sean considerados de alta confidencialidad, la información a transmitir debe estar encriptada en un 100 por ciento. Esto sería aplicado, por ejemplo, al intercambio de historiales clínicos entre centros médicos o entre sectores del mismo centro.

III. INFRAESTRUCTURA Y ELEMENTOS DE RED

La Tecnología es un factor clave al momento de prestar servicios de tele medicina, desde el equipamiento en ambos extremos del sistema, hasta la necesidad de usar software libre con el fin de darle una rápida solución a problemas adicionales del servicio y que se adapten a los protocolos y estándares establecidos [8].

Al momento de instalar un servicio de telemedicina, por lo general se utiliza la red interna hospitalaria que se encuentra en funcionamiento y puede que sea necesario adaptarla.

Los equipos necesarios para prestar un servicio de telemedicina se pueden clasificar de la siguiente manera [9]:

A. Terminales e instrumentos

Abarcan todos los dispositivos tecnológicos utilizados tanto para obtener la información, como para visualizarla en el otro extremo del servicio de telemedicina, se prioriza el uso de equipos de optimo nivel como electrocardiógrafos de 12 derivaciones los cuales permiten visualizar la actividad del corazón desde diferentes perspectivas [10], ya que en este punto se resalta la importancia de obtener una buena información origen con el fin de prestar un servicio adecuado.

B. Procesamiento de la información y datos

Se refiere principalmente al uso de ficheros para intercambio de información y a la creación de

las bases de datos que la almacena.

C. Velocidad

Para la telemedicina, la velocidad no siempre va a ser fundamental, ya que depende del servicio a ofrecer. Para el caso de enlaces principales, las tecnologías más utilizadas serían ADSL y fibra óptica. Este último siendo el más implementado debido a que tiene mejores parámetros de velocidad de transmisión y latencia [11].

TABLA I
CARACTERÍSTICAS DE TECNOLOGÍAS XDSL [11]

Tecnología	Velocidad max bajada	Velocidad max subida	Simetría
ADSL	9 Mbps	640 Kbps	Asimétrico
SDSL	2,32 Mbps	2,32 Mbps	Simétrico
HDSL	2,32 Mbps	2,32 Mbps	Simétrico
VDSL	52 Mbps	6 Mbps	Asimétrico
ADSL2	24 Mbps	3 Mbps	Asimétrico

Sin embargo, hay que pensar en los enlaces de respaldo, los cuales pueden variar de acuerdo a los servicios ya que no todos se van a adaptar.

Las velocidades y nivel de prioridad de algunos de los servicios de telecardiología se muestran en la tabla 2 [9].

Ya que los diferentes tipos de contenido a transmitir pueden crear una limitación al tipo de tecnologías de transmisión, se establece dos tipos de datos sobre la información a transmitir en Mb/s de servicios en tiempo real.

Esto es muy importante debido a que también se debe decidir qué tipo de backups son necesarios en los servicios de telemedicina. Existen estándares como DICOM [8], que establecen el formato de envío y recepción de imágenes médicas, con el fin de asegurar la calidad suficiente para ser usadas por el personal médico en los debidos diagnósticos.

Con la información anteriormente analizada, se propone los siguientes tipos de servicio según su velocidad de transmisión:

1) Tiempo real:

Para este tipo de servicio se puede clasificar en comunicación crítica y no crítica.

En el caso de la comunicación crítica hay que tener en cuenta baja latencia y, además, enviar gran cantidad de tráfico al instante (ya sea para el caso de envío de señales ECG o para imágenes cardiológicas), a diferencia de la comunicación no crítica, debido a que esta no representa ningún peligro para las partes involucradas en la comunicación.

TABLA II
PARÁMETROS SERVICIOS TELECARDIOLOGÍA [9]

Servicio de tele-cardiología	Velocidad de datos	Retardo máximo	Nivel de prioridad
<i>Audio</i>	4-25 Kbps	150-400ms	2
<i>Video</i>	650 Kbps-5Mbps	150-400ms	4
<i>ECG</i>	25 Kbps/12	1s	2

2) Acotada en el tiempo:

Para distinguir los servicios que serían acotados en el tiempo se recomienda considerarlos como prioritarios, los cuales requieren de un ancho de banda mayor debido a que deben transmitir gran cantidad de información constantemente; y no prioritarios, en el cual la velocidad no es fundamental, por lo cual se puede usar cualquier red y velocidad de línea.

D. Trasmisión de datos

Hace referencia al método para enviar la información. Debido a que la información que se transmite mediante los servicios telemédicos es de carácter privado y confidencial, los enlaces utilizados para su comunicación deben ser seguros y cumplir con ciertos parámetros que garanticen tanto la calidad del servicio como de la información.

TABLA III
TECNOLOGÍAS INALÁMBRICAS PARA TELEMEDICINA [12].

Tecnología	Ancho de banda	Cobertura	Complejidad
<i>2G/2.5G(GSM/GPRS)</i>	Bajo	Rural/urbano	Baja
<i>3G(UMTS)</i>	Medio	Suburbano/Urban o	Baja
<i>3.5G(LTE, WiMax)</i>	Alto	Suburbano/Urban o	Media
<i>4G(LTE, WiMax V2)</i>	Alto	o	Alta

Las redes telemáticas para provisión de servicios, tienen un papel central en esta investigación, ya que pueden establecer si es factible o no la implementación de un servicio.

Para determinar cuál es la red indicada que dará soporte al servicio de telecardiología, se realiza un análisis tanto de las tecnologías alámbricas, inalámbricas y de la arquitectura de la red de acceso, así como sus respectivos parámetros, dependiendo de los servicios, usos que se requieran y los sitios o lugares a donde se deba prestar el servicio.

Dentro de dichas tecnologías, se destacan el acceso telefónico, ADSL y sus variaciones, RDSI, Fibra óptica, accesos inalámbricos WAN y WIFI. Para esta caracterización no se toman en cuenta los enlaces satelitales debido a que, al proporcionar una cobertura global, introducen un retardo de señal aproximado de 280 ms [13].

Teniendo en cuenta que la red destinada al servicio de telemedicina puede ser aplicada en varios contextos, a continuación, se profundiza en tres tipos de redes de acceso:

1) ADSL:

El acceso por ADSL es práctico si se requiere implementar el sistema en centros de salud o puntos de diagnóstico en donde los servicios de telefonía analógica tengan prioridad, ya que está ideado para coexistir con ellos.

Las derivaciones de las redes ADSL como VDSL y SDSL, se caracterizan por el aumento de las velocidades de transmisión. Para el caso de las redes SDSL, presentan una simetría en sus velocidades de subida y de bajada. [14].

Estos accesos a red manejan velocidades superiores a los 256 Kbit/s, mucho mayor que los accesos telefónicos, y puesto en las que se pueden reutilizar las conexiones ya existentes.

Es idóneo para las prestaciones de servicios de salud dentro de las entidades, además de tener un coste aceptable en comparación con otro tipo de tecnología, por lo que su aplicación en centros de salud de bajo nivel resulta adecuada.

2) Fibra óptica:

Las redes de acceso mediante fibra óptica son utilizadas para servicios que requieran alto nivel de fiabilidad como es el caso de las transmisiones en tiempo real, también son altamente utilizadas porque presentan un nivel de atenuación muy bajo a grandes distancias [15].

En términos generales la velocidad que puede alcanzar la red de fibra óptica es de aproximadamente 10Gbit/s.

Las redes de acceso por fibra óptica tendrían un desempeño excelente, sin embargo, los costos

para su implementación son altos y por tanto no es una opción primordial.

3) Accesos inalámbricos de área extensa:

Este tipo de conexiones hacen referencia a los servicios de telemedicina que se ofrecen mediante conexión inalámbrica, ideales para sistemas en donde se requiera transmitir información de algún tipo a lugares remotos o entornos rurales.

La complejidad es un factor determinante, las tecnologías 4G a pesar de tener la mejor prestación en ancho de banda, tienen una complejidad alta por su infraestructura y las tasas de transmisión. Las redes de área metropolitana (MAN), principalmente WiMax y las redes de área extensa (WAN), como 3G, ofrecen una alternativa ideal, en lo que respecta a ancho de banda (aproximadamente 80 y 10 Mbps) y a cobertura [16], [18].

Para lograr un servicio de telemedicina-ECG con verdaderas garantías, se propone la utilización del algoritmo de traspaso vertical [17]. Este algoritmo consiste en determinar si la red utilizada cumple con los requisitos de transmisión de señales, según parámetros técnicos como ancho de banda (B), velocidad de transmisión de datos (VTD), relación señal a ruido (SNR), además de factores como la prioridad del servicio ofrecido, el costo de acceso a la red (C) y el número de pacientes en estado crítico. En la ecuación 1 [17], [19] se indica como determinar la velocidad de transmisión de datos.

$$VTD = B \log_2 (1 + SNR) \quad (1)$$

Así, por ejemplo, al transmitir señales con contenido de audio, video y ECG por una red que no soporte los tres servicios al mismo tiempo, se deja solo activo el o los servicios con mayor nivel de prioridad que soporte la red según la tabla 2.

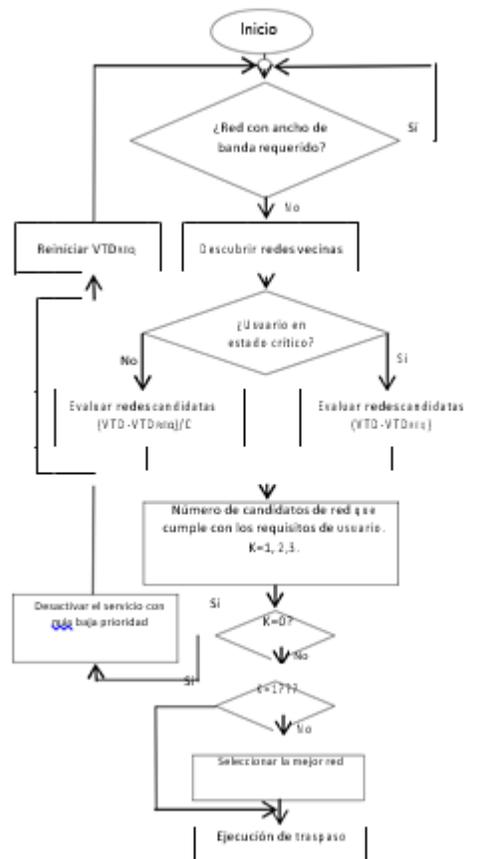


Fig. 1. Diagrama de flujo Algoritmo de traspaso vertical para servicios de telemedicina ECG [17].

IV. CONCLUSIÓN

En la caracterización de un servicio de telemedicina, se brindan las posibles soluciones para dar cabida a las mayores problemáticas de los centros de salud, los cuales se ven limitados por la transmisión de la información. Cualquiera de las tecnologías de transmisión que se estudiaron, son adecuadas para el tratamiento de señales con contenido electrocardiográfico en tiempo real.

A partir de un estudio de requisitos establecidos para un servicio de telemedicina se determinan ciertas recomendaciones con el fin de que sean tenidas en cuenta al momento de implementar el servicio en centros médicos. A pesar de que los servicios de telemedicina tienen como finalidad ser utilizados en contextos en donde no se logre una asistencia presencial, por lo general, en lugares remotos y en donde los centros de salud no cuentan con la tecnología o infraestructura adecuada, los sistemas de telecardiología, por políticas de salud, no puede ser

implementados allí. Esto se debe principalmente a que se encuentran establecidos niveles de complejidad en centros de salud con sus respectivas políticas de implementación técnica y de servicios médicos.

Los servicios dados por los proveedores de red a las entidades prestadoras de salud juegan un papel crucial en el funcionamiento de determinados servicios telemédicos, la calidad del medio de transmisión debe cumplir con los parámetros específicos y establecidos para la transmisión de señales con contenido ECG.

Las tecnologías de la comunicación tanto alámbricas como inalámbricas hacen posible que se puedan implementar servicios de telemedicina destinada a señales con contenido ECG, pero debido a factores como costos, y restricciones de prestación de servicios en las entidades de salud, solo es viable su implementación en las zonas urbanas de la región. Se recomienda el uso del algoritmo de transporte vertical para determinar la factibilidad de la red del sistema de telemedicina-ECG.

REFERENCIAS

[1] Latin Stemi: Disponible en:

<https://www.youtube.com/watch?v=h7ZA8L51eq>.

[2] L. Gallagher, G. Turnbull. Telecomunicaciones en acción. Londres: The Regency Corporation Limited, 1999. Available: <http://itu.tind.io/record/2233>.

[3] D. H. Chandy, "Diseño de una infraestructura de telecomunicaciones para la transmisión de signos vitales de pacientes en la zona urbana de la ciudad de Cuenca", Bs tesis, P. P. Ingeniería Electrónica, Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, Ecuador, 2016.

[4] Ministerio de salud y protección social, "Estudio exploratorio de la situación de la telemedicina en municipios priorizados-Colombia", 2016.

[5] J. Mendez, "Diseño de un sistema de interconexión inalámbrica para proveer servicios de telemedicina en centros y puestos de salud en una zona rural de Cundinamarca "Unv San Buenaventura. 2009

[6] P. Nanda and R. C. Fernandes, "Quality of Service in Telemedicine," Digital Society, 2007.

ICDS '07. First International Conference on the, Guadeloupe, 2007, pp. 2-2.

[7] Ministerio de salud. "Resolución 5261 de 1994" Colombia. Disponible en: <http://www.hospitalfernandotroconis.com/wp-content/uploads/2015/03/RESOLUCI%C3%93N-5261-DE-1994.pdf>

[8] L. R. Alvarez and R. Vargas Solis, "DICOM RIS/PACS Telemedicine Network Implementation using Free Open Source Software," in IEEE Latin America Transactions, vol. 11, no. 1, pp. 168-171, Feb. 2013.

[9] J. Puentes and B. Solaiman, "Telemedicine in Perspective: Trends and Challenges," 2006 2nd International Conference on Information & Communication Technologies, Damascus, 2006, pp. 965-970.

[10] R. Rakhit, "The telecardiology revolution: Improving the management of cardiac disease in primary care." Journal of the Royal Society of Medicine. 2010.

[11] V. M. Barinov, D. V. Kiesewetter, D. A. Shatilov and A. S. Pyltzov, "Fiber optic temperature monitoring system of power cable lines," 2017

10th International Symposium on Advanced Topics in Electrical Engineering (ATEE), Bucharest, 2017, pp. 641-644.

[12] M.C. Batistatos, G.V. Tsoulos, and G.E. Athanasiadou, "Mobile telemedicine for moving vehicle scenarios: Wireless technology options and challenges," J. Netw. Comput. Appl., vol. 35, pp. 1140-1150, May 2012.

[13] F. HALSALL, Computer networking and internet. Addison Wesley. Quinta edición, 2005J.

[14] J. KUROSE J, K. ROSS. "Redes de computadores". Editorial Pearson, 5ª edición.

[15] M.C. Batistatos, G.V. Tsoulos, and G.E. Athanasiadou, "Mobile telemedicine for moving vehicle scenarios: Wireless technology options and challenges," J. Netw. Comput. Appl., vol. 35, pp. 1140-1150, May 2012.

[16] Understanding Wi-Fi and Wi Max as Metro-Access Solutions." <http://www.rclient.com/PDFs/IntelPaper.pdf>, 2004. Intel Corporation.

[17] H. T. Yew, E. Supriyanto, M. H. Satria and Y. W. Hau, "Adaptive network selection mechanism for telecardiology system in developing countries," 2016 IEEE-EMBS International Conference on Biomedical and Health Informatics (BHI), Las Vegas, NV, 2016, pp. 94-97.

[18] O.I. Higuera, and J.M. Salamanca, "Controlador robusto LMI para un helicóptero de dos

grados de libertad”, Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, vol. 15, N° 2, pp. 47-57, Julio 2015. DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.4250>

[19] M.A. Bohórquez, and C.N. Salamanca, “Diseño e implementación de hmi y scada aplicados a la emulsión didáctica de un proceso de envasado,” Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo, vol. 13, N° 1, pp. 26-33, Enero 2013. DOI: <https://doi.org/10.19053/1900771X.4043>