

Laboratório remoto VISIR: As Limitações da Matriz de Comutação

Frederico L. Jacob
Departamento de Física
Instituto Superior de Engenharia do
Porto (ISEP)
Porto, Portugal
ORCID: 0000-0002-0912-2245

Elio San Cristobal Ruiz
Departamento de Engenharia Elétrica,
Eletrónica, Controlo, Telemática e
Química Aplicada à Engenharia
Universidad Nacional de Educación a
Distancia (UNED)
Madrid, Espanha
ORCID: 0000-0003-2102-977X

André V. Fidalgo
Departamento de Engenharia
Eletrónica
Instituto Superior de Engenharia do
Porto (ISEP)
Porto, Portugal
ORCID: 0000-0003-1219-3105

Felix Garcia Loro
Departamento de Engenharia Elétrica,
Eletrónica, Controlo, Telemática e
Química Aplicada à Engenharia
Universidad Nacional de Educación a
Distancia (UNED)
Madrid, Espanha
ORCID: 0000-0001-5445-2377

Resumo— Num mundo em rápida evolução, a tecnologia desempenha um papel fundamental na transformação da forma como os estudantes aprendem e interagem com conceitos teóricos e práticos. Um exemplo notável deste progresso é o *Virtual Instrument Systems in Reality (VISIR)*, uma popular plataforma de laboratório remoto desenvolvida para o ensino de disciplinas específicas, como a eletrónica analógica e a eletricidade. Este laboratório permite que os estudantes realizem experiências práticas através da Internet, utilizando potencialmente equipamento real, instalado num local distante, e controlado à distância. Assim, os estudantes podem aceder ao laboratório remoto VISIR através de um navegador Web e interagir com instrumentos e circuitos como se estivessem num laboratório convencional. No entanto, provavelmente por não ter recebido actualizações relevantes durante bastante tempo, esta plataforma apresenta várias limitações, que serão exploradas neste artigo, essencialmente as que existem atualmente na Matriz de Comutação. Esta abordagem baseou-se em informações publicadas na literatura científica combinadas com o retorno da intensiva experiência de utilizadores e proprietários. Esta avaliação visa identificar várias limitações (técnicas, educativas ou pedagógicas, operacionais e económicas) da Matriz de Comutação, que podem ser consideradas ameaças para o futuro do laboratório remoto VISIR e afetar o seu desempenho e estabilidade, bem como a sua expansão a uma comunidade mais vasta de utilizadores. De salientar que não são apresentadas sugestões de soluções para corrigir as limitações desta parte da plataforma remota.

Palavras-chave— Limitações, Matriz de comutação, VISIR

I. INTRODUÇÃO

De acordo com [1], o laboratório remoto VISIR é a plataforma de experimentação mais popular no ensino de circuitos elétricos e eletrónica analógica, estando na vanguarda de um movimento mundial no campo do ensino prático à distância. Assim, além de ser um dispositivo de medição física, esta plataforma é também um instrumento educativo que, de acordo com os autores de [2], é tão difundido que a bibliografia (atas de conferências, artigos de revistas, teses, secções de livros, etc.) focada exclusivamente neste laboratório totaliza cerca de trezentas publicações.

O laboratório remoto VISIR, conforme mostrado na Fig. 1, é essencialmente composto por uma unidade física

constituída por vários componentes de *hardware* e *software* [3], comunicando-se com os estudantes através de uma interface web, nomeadamente, uma placa de ensaio virtual onde todos os componentes necessários para a realização dos experimentos estão disponíveis [4]. Assim, esta plataforma está dividida em três blocos principais, nomeadamente, o *setup* experimental (Matriz de Comutação, chassis PXI e os seus módulos, etc.), os servidores (Servidor Web, Servidor de Equipamentos e Servidor de Medição) e o cliente (que fornece acesso e interação com os experimentos disponíveis).



Fig. 1. Plataforma do laboratório remoto VISIR [4]

A Matriz de Comutação do laboratório remoto VISIR é um manipulador de circuitos controlável remotamente, consistindo numa pilha de placas de circuito impresso (PCB), especificamente concebida para esta plataforma [3]. Portanto, este dispositivo desempenha um papel fundamental na configuração e interligação de componentes (transístores, amplificadores operacionais, resistências elétricas, condensadores, etc.), fios de ligação e instrumentos usados nos experimentos. Por outras palavras, os circuitos são criados adicionando ou removendo componentes e fios de ligação diretamente nas várias placas, enquanto os sinais e/ou tensões elétricas, bem como as medições, são obtidos ao ligá-los aos módulos do chassis PXI. Embora ofereça flexibilidade para os estudantes explorarem uma ampla gama de circuitos e fenómenos, adaptando-se às necessidades específicas de cada experimento, a Matriz de Comutação apresenta, no entanto, algumas limitações importantes.

O laboratório remoto VISIR tem sido utilizado diariamente em vários projetos de investigação académica e em múltiplas aulas em todo o mundo, exigindo, assim, que esteja sempre totalmente operacional. No entanto, apesar de alguns esforços de desenvolvimento, a falta de uma estratégia de desenho a longo prazo resulta em inconvenientes persistentes que permanecem sem solução, não estão totalmente identificados ou são apenas parcialmente abordados. Isso se aplica a todos os elementos que compõem esta plataforma de experimentação. Portanto, o foco deste artigo é avaliar o funcionamento da Matriz de Comutação, um dos componentes mais importantes do laboratório remoto VISIR, e posteriormente identificar as várias limitações que enfrenta atualmente. Assim, este trabalho consiste em descrever as limitações da Matriz de Comutação e explicar, se possível, como influenciam o desempenho da plataforma remota, a preparação das atividades experimentais e/ou os resultados obtidos nos experimentos.

Este documento está dividido em quatro seções distintas. Na seção seguinte (Seção II), a Matriz de Comutação é brevemente descrita. Depois, na Seção III, considerando informações publicadas na literatura (artigos, teses, etc.), bem como o *feedback* de utilizadores e proprietários do laboratório remoto VISIR, são apresentadas as principais limitações da Matriz de Comutação que já foram identificadas. Estas limitações são agrupadas em categorias distintas, ou seja, técnicas, educacionais ou pedagógicas, operacionais e económicas, e são caracterizadas e brevemente explicadas. As conclusões são apresentadas na última seção (Seção IV).

II. MATRIZ DE COMUTAÇÃO DO VISIR

No laboratório remoto VISIR, a Matriz de Comutação, especificamente projetada para esta plataforma, é responsável por interligar componentes e fios de ligação, bem como conectar instrumentos ao circuito para permitir a introdução de sinais ou tensão elétrica e realizar medições. Assim, este mecanismo de ligação substitui a manipulação pelo utilizador dos dispositivos do laboratório físico, que é frequentemente a parte mais complexa de um laboratório remoto [4].

Projetada, concebida e comercializada pela *Blekinge Tekniska Högskola* (BTH) [1], a Matriz de Comutação, conforme mostrada na Fig. 2 (com apenas uma Placa de Componentes), contém tipos distintos de placas. Assim, possui placas para a alocação dos componentes utilizados nos experimentos (Placas de Componentes), placas para a ligação aos instrumentos (Placas de Instrumentos) e outras placas para a ligação a fontes de alimentação DC e ao gerador de sinal (Placa de Alimentação) presentes nos módulos do chassis PXI. Além destas, existem também *Dual Component Boards* que permitem a conexão livre entre nós de até dois componentes com dois terminais cada, ou um instrumento de baixa frequência, como um multímetro digital. Para expandir a gama de aplicações, existe também a possibilidade de ligar externamente as Placas de Componentes da Matriz de Comutação a outros componentes (por exemplo, com uma pinagem diferente da suportada pela plataforma) ou placas que contenham circuitos complexos implementados.

As Placas de Componentes da Matriz de Comutação consistem num microcontrolador (o Controlador da Placa), o Microchip PIC16F767, cujo objetivo é identificar cada placa, lidar com o formato das mensagens e controlar os componentes incluídos nela, vários relés eletromecânicos, um potenciômetro digital de 10 kΩ, dois integrados ULN2003A

(um conjunto de sete Darlington), vários soquetes para componentes e fios de ligação, e conectores de barramento para a comunicação entre as várias placas.

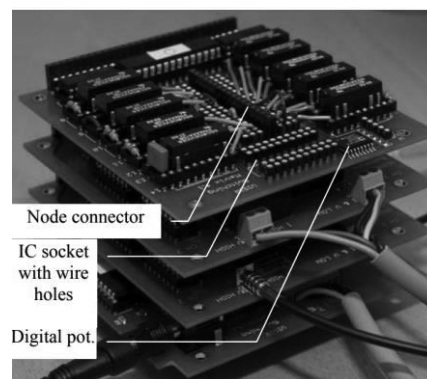


Fig. 2. Matriz de Comutação [5]

As Placas de Instrumentos são de dois tipos distintos, ou seja, a Placa DMM (para medições de tensão elétrica, resistência elétrica e intensidade de corrente) e a Placa de Osciloscópio. Ambos os tipos incluem o Controlador de Placa e os conectores de barramento e, além disso, têm pinos específicos que permitem ligar as entradas de medição a qualquer nó da plataforma.

A Placa de Alimentação é única para cada Matriz de Comutação e permite a ligação a várias fontes de energia, como o gerador de função e a fonte de alimentação DC, presentes nos módulos do chassis PXI. Também possui uma ligação externa a uma fonte de 12 V_{DC} utilizada para alimentar os relés eletromecânicos. Além disso, esta placa é usada para transmitir sinais de controlo entre as várias partes da plataforma, por isso inclui um microcontrolador dedicado para esta tarefa (o Controlador da Matriz), o Microchip PIC18F4550 [5].

Para além destas ligações com os módulos do chassis PXI, a Matriz de Comutação comunica com o computador que tem os vários servidores através de um cabo USB, facilitando a ligação à Internet que permite aos estudantes realizar os experimentos práticos.

O Servidor de Equipamentos, totalmente desenvolvido no *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench* (LabVIEW), uma linguagem de programação gráfica da *National Instruments* (NI), controla a Matriz de Comutação, permitindo que esta execute e implemente o circuito criado pelo estudante e forneça resultados da medição [6]. Assim, entre outras funções, gere a execução dos comandos dos estudantes sem comunicar diretamente com eles, recebendo ordens do Servidor de Medição e acedendo à Lista de Componentes, um ficheiro usado para descrever todos os componentes, os seus valores nominais, as possíveis ligações e as suas posições exatas na Matriz de Comutação.

III. LIMITAÇÕES DA MATRIZ DE COMUTAÇÃO

Em [7], os autores mencionam que existem muitas fraquezas de diversos tipos no laboratório remoto VISIR, indicando que vários aspetos precisam de ser melhorados, pois podem ser vistos como uma ameaça à sua existência, mesmo num futuro próximo.

A dependência de terceiros do laboratório remoto VISIR, incluindo a Matriz de Comutação, é a maior limitação desta plataforma, causando dificuldades de vários tipos, como a

impossibilidade de facilmente utilizar *hardware* de diferentes fabricantes.

Considerando toda a informação publicada na literatura científica (artigos, teses, etc.) e o *feedback* de experiências intensivas de utilizadores e proprietários da plataforma, as limitações relacionadas com a Matriz de Comutação podem ser divididas em categorias técnicas, educativas ou pedagógicas, operacionais e económicas, e são apresentadas nas seções seguintes.

A. Limitações técnicas

Uma das principais limitações técnicas da Matriz de Comutação é o facto de apenas permitir circuitos com um máximo de oito nós. No entanto, como a saída do gerador de sinal está ligada internamente ao nó A, quando este instrumento é utilizado no circuito, o número de nós disponíveis é ainda mais limitado. Como todos os componentes e fios de ligação estão sempre conectados a um nó, a conceção da configuração experimental torna-se mais complexo do que com uma placa de ensaio padrão num laboratório convencional [8].

A Matriz de Comutação tem limitações quanto à capacidade de armazenamento de componentes e fios de ligação porque, no máximo, apenas 15 Placas de Componentes podem ser empilhadas juntas [9]. Portanto, os componentes precisam de ser frequentemente trocados para corresponderem aos necessários para implementar os circuitos, o que limita o número de experimentos que podem ser conduzidos simultaneamente pelos estudantes [10].

De acordo com [11], uma limitação importante é a impossibilidade física de conectar diretamente um componente instalado a outro existente nas Placas de Componentes. Também se observa que isso está relacionado com os ficheiros MaxList (como exemplo, uma parte de um na Fig. 3) porque, essencialmente, eles representam uma barreira lógica para combinações diretas entre dois ou mais componentes, instalados na mesma ou noutra Placa de Componentes.

```
VFGENA_24_1 A 0
VDCCOM_24_2:1_11 0
VDC+25V_24_4:1_13 B
VDC-25V_24_5:1_12 C

R_3_1 E G 10k
R_4_1 A H 150
R_4_2 A H 270
R_4_3 B E 47k
R_4_8 B E 56k
R_4_9 D E 10k
R_4_10 H I 10k
R_13_6:13_7 F H 10k_X

OP_4_6:4_5:4_14:4_13:4_7 NC1 D I C NC2 F B NC3 uA741

SHORTCUT_1_5 D E
SHORTCUT_3_4 E G
SHORTCUT_3_12 H I
SHORTCUT_24_12 0 G
```

Fig. 3. Exemplo de um ficheiro MaxList

O código-fonte de ambos os tipos de microcontroladores está inacessível e não é fornecido quando a Matriz de Comutação é adquirida. Uma vez que a Matriz de Comutação é um *hardware* proprietário, o *software* é exclusivo para essa solução e, como não está acessível, nem existem publicações explicando-o, não é viável utilizar outro tipo de matriz (comercial, etc.) para controlar a plataforma de experimentos remotos com ele. No entanto, as limitações com o *software* da Matriz de Comutação do laboratório remoto VISIR também ocorrem com o Servidor de Equipamentos. Para além de não

ser fácil entender como este servidor funciona, e de nunca ter sido documentado, o código é bastante extenso e tem muitas ligações relacionais entre os diferentes blocos. Assim, é impossível manter o Servidor de Equipamentos, não é fácil comparar as diferentes revisões feitas ao longo dos anos e pode levar muito tempo para atualizar o código, se necessário.

Outra limitação do *software* ocorre porque o código do LabVIEW não é compilado num programa binário, tornando-o lento, reduzindo o desempenho da Matriz de Comutação.

A partir da utilização repetida do laboratório remoto VISIR, foram identificadas outras limitações técnicas na Matriz de Comutação, tais como:

- Os cabos de ligação, os quais, devido à disposição dos conectores de barramento que ligam os nós aos componentes e fios de ligação, podem sofrer quebra na continuidade elétrica, contato defeituoso ou curto-circuito.
- Os soquetes das Placas de Componentes, onde os componentes e todos os fios de ligação devem ser fisicamente colocados, têm orifícios muito pequenos para acomodar certos elementos, como os díodos.
- Os relés eletromecânicos apresentam frequentemente mau funcionamento, e como essas falhas geralmente são aleatórias, elas quase sempre só são perceptíveis quando os estudantes estão a realizar os experimentos.
- Os controladores de *firmware* que não são atualizados há muito tempo, causam problemas de compatibilidade ao alterar o sistema operativo no computador que contém os servidores.

B. Limitações educativas ou pedagógicas

A abordagem utilizada na conceção da Matriz de Comutação resulta numa redundância de componentes e fios de ligação, o que requer a utilização de mais Placas de Componentes na plataforma para implementar o circuito pretendido. Economicamente, esta situação é insustentável, pelo que se torna necessário organizar as atividades laboratoriais com os elementos disponíveis, reduzindo a diversidade de conteúdos pedagógicos que podem ser abordados em simultâneo. Assim, esta limitação de *hardware* impacta na complexidade das topologias de circuitos permitidas, restringindo o seu uso a cursos que utilizam circuitos mais simples [7]. É de notar que esta baixa complexidade dos circuitos disponíveis para os estudantes também se deve à escassez de nós nas Placas de Componentes [12].

Como o amperímetro deve ser conectado em série com os outros componentes do circuito, na Matriz de Comutação, ele deve ser colocado num curto-circuito entre dois nós diferentes. Portanto, é essencial indicar sempre aos estudantes onde localizar este instrumento de medição, o que significa que, do ponto de vista pedagógico, eles não compreendem que é possível posicioná-lo noutra ponto do circuito.

Outra limitação que também impede a realização de alguns experimentos mais complexos é o fato de que a intensidade de corrente elétrica que pode atravessar os relés eletromecânicos colocados nas Placas de Componentes da Matriz de Comutação estar construtivamente limitada a 500 mA.

Assim, dadas estas limitações da Matriz de Comutação, para os professores e o pessoal técnico especializado, criar,

preparar e projetar circuitos requer abordagens alternativas às normalmente adotadas para realizar a mesma tarefa em laboratórios convencionais.

C. Limitações operacionais

Relativamente às limitações operacionais, observa-se que há alguma dificuldade em manter, atualizar e/ou aceder aos componentes e fios de ligação instalados nas Placas de Componentes porque, como estão empilhados, é necessário remover cada um deles individualmente para realizar estas tarefas. Além disso, não é fácil saber qual dos relés eletromecânicos está com defeito sem ter de os remover todos da Matriz de Comutação, ou seja, sem interromper o laboratório remoto VISIR, aumentando o tempo de manutenção preciso para localizar o dispositivo avariado. Isto leva a outra limitação, nomeadamente, a ausência de uma mensagem informando que a Matriz de Comutação está em manutenção, o que faz com que os estudantes não entendam por que não conseguem aceder à plataforma.

É também de notar a ausência de um invólucro protetor para a Matriz de Comutação, conduzindo a problemas de segurança, fiabilidade e estabilidade, uma vez que não está equipada com uma base de montagem específica dedicada.

A dependência da conectividade à Internet também pode ser um ponto sensível, pois falhas ou problemas de latência podem afetar a experiência do estudante. Por conseguinte, é essencial implementar medidas robustas de monitorização e manutenção para garantir o funcionamento fiável da Matriz de Comutação no laboratório remoto VISIR.

D. Limitações económicas

Sendo o laboratório remoto VISIR uma plataforma em tempo real, entende-se que o seu desenvolvimento e manutenção são dispendiosos. Portanto, uma das principais limitações da Matriz de Comutação é o custo no momento da sua aquisição. Além deste elevado investimento inicial, uma vez que a implementação desta plataforma depende diretamente do uso de *hardware* (incluindo a Matriz de Comutação) e *software* específico para o qual foi concebida, tal resulta num preço excessivo para cada sessão laboratorial [13]. Como a distribuição do LabVIEW não é um *software* gratuito, também é apropriado incluí-la nestes custos iniciais, sem esquecer que a licença precisa de ser renovada todos os anos.

Para funcionar corretamente, é necessário colocar componentes nas Placas de Componentes da Matriz de Comutação, o que significa dispositivos que têm um custo variável. Este gasto pode ser relativamente baixo, como no caso de resistências elétricas, ou mais elevado, como com os amplificadores operacionais, mas qualquer que seja o tipo de componente, o montante gasto será sempre menor do que num laboratório convencional.

Uma vez que a Matriz de Comutação é uma solução proprietária, uma das suas limitações é a baixa probabilidade de ser reutilizada num sistema que não seja o laboratório remoto VISIR. Portanto, o investimento financeiro feito só pode ser recuperado através do uso intensivo da plataforma.

A complexidade da Matriz de Comutação pode tornar a sua configuração e manutenção desafiadoras, exigindo conhecimentos técnicos especializados para o diagnóstico e a resolução de problemas, bem como, para a criação, desenho e depuração de circuitos. Por se tratar de uma atividade complexa que requer conhecimentos de eletricidade,

eletrónica e informática, bem como, a capacidade de integrar circuitos com *software* e *hardware*, é necessária a presença de pessoal técnico especializado, o que acarreta custos excessivos. No entanto, quase todas as plataformas instaladas são desenvolvidas, mantidas e geridas por estudantes de pós-graduação, professores e investigadores, pois as organizações não têm recursos financeiros para ter uma equipa permanente.

IV. CONCLUSÕES

O laboratório remoto VISIR, apesar de ser uma plataforma de experimentação prática à distância no domínio da eletrónica analógica e da eletricidade, que é utilizada com muita frequência, enfrenta os desafios próprios como um todo, mas também em partes muito específicas, como na Matriz de Comutação.

Através da revisão de toda a informação relevante disponível, juntamente com o *feedback* de experiências intensivas de utilizadores e proprietários, neste trabalho foram identificadas as principais limitações atualmente existentes na Matriz de Comutação, entendendo-se, entre outros, que estas estão relacionadas com o *hardware* e o *software*, mas também com aspectos educacionais ou pedagógicos, operacionais e económicos. Entende-se também que, devido a estas limitações, há uma redução na flexibilidade de preparação das actividades laboratoriais, bem como, uma baixa reutilização dos componentes da plataforma, uma interoperabilidade quase inexistente, a não ser com os próprios dispositivos, e elevados custos de *hardware* da Matriz de Comutação.

Devido a muitas destas limitações serem consideradas ameaças e possíveis obstáculos à disseminação futura, é essencial, caso se pretenda manter esta plataforma operacional por mais algumas décadas, por exemplo, capitalizar o seu custo de aquisição e proceder prontamente a melhorias significativas. Estas últimas podem, com maior ou menor facilidade, superar todas as limitações identificadas, sem esquecer que existe uma interligação entre todas as partes constituintes do laboratório remoto VISIR. Ou seja, são necessárias e essenciais melhorias técnicas para aumentar a flexibilidade e o desempenho, ao mesmo tempo que se diminui a dependência de terceiros, como nos casos da Matriz de Comutação e do LabVIEW, substituindo-os por outras tecnologias.

Apesar dos obstáculos mencionados anteriormente, o laboratório remoto VISIR representa um marco na evolução do ensino das ciências e da engenharia, pois democratiza o acesso à educação prática e promove a colaboração global entre instituições educacionais.

REFERENCIAS

- [1] A. Villar-Martinez, et al., "LabsLand Electronics Laboratory: Distributed, Scalable and Reliable Remote Laboratory for Teaching Electronics", *Open Science in Engineering*, vol. 763, pp. 261-272, Jan. 2024, doi: 10.1007/978-3-031-42467-0_24.
- [2] M. M. Silva, A. V. Fidalgo, A. Marques, G. R. Alves, R. M. Salah, and F. L. Jacob, "A comprehensive VISIR bibliographical reference", 2021 World Engineering Education Forum / Global Engineering Deans Council (WEEF / GEDC), Madrid (Spain), Nov. 2021, pp. 468-475, doi: 10.1109/WEEF/GEDC53299.2021.9657332.
- [3] M. Tawfik, et al., "Virtual instrument systems in reality (VISIR) for remote wiring and measurement of electronic circuits on breadboard", *IEEE Transactions on Learning Technologies*, vol. 6, no. 1, pp. 60-72, Mar. 2013, doi: 10.1109/TLT.2012.20.
- [4] I. Gustavsson, J. Zackrisson, L. Håkansson, I. Claesson, and T. Lagö, "The VISIR project – an Open Source Software Initiative for Distributed Online Laboratories", 4th International Conference on

- Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Porto (Portugal), pp. 841-851, Jun. 2007.
- [5] I. Gustavsson, et al., "Telemanipulator for Remote Wiring of Electrical Circuits", 5th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Duesseldorf (Germany), pp. 1-8, Jun. 2008.
- [6] L. Rodríguez-Gil, P. Orduña, J. García-Zubía, and D. López-de-Ipiña, "Advanced integration of OpenLabs VISIR (Virtual Instrument Systems in Reality) with Weblab-Deusto", 9th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Bilbao (Spain), pp. 1-7, Jul. 2012, doi: 10.1109/REV.2012.6293150.
- [7] G. R. Alves, et al., "A roadmap for the VISIR remote lab", European Journal of Engineering Education, vol. 48, no. 5, pp. 880-898, Mar. 2022, doi: 10.1080/03043797.2022.2054312.
- [8] I. Gustavsson, et al., "Telemanipulator for Remote Wiring of Electrical Circuits", 5th International Conference on Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), Duesseldorf (Germany), pp. 1-8, Jun. 2008.
- [9] F. Garcia-Loro, et al., "PILAR: a Federation of VISIR Remote Laboratory Systems for Educational Open Activities", 2018 IEEE International Conference on Teaching, Assessment, and Learning for Engineering (TALE), Wollongong (Australia), pp. 134-141, Dec. 2018, doi: 10.1109/TALE.2018.8615277.
- [10] F. L. Jacob, M. A. Marques, A. Fidalgo, E. S. C. Ruiz, F. G. Loro, M. Castro, "VISIR Remote Lab: Identifying Limitations and Improvement Ideas", Open Science in Engineering, vol. 763, pp. 149-157, Jan. 2024, doi: 10.1007/978-3-031-42467-0_13.
- [11] I. Gustavsson, T. Olsson, H. Åkesson, J. Zackrisson, L. Håkansson, "A Remote Electronics Laboratory for Physical Experiments using Virtual Breadboards", 2005 American Society for Engineering Education Annual Conference & Exposition, Portland (USA), Jun. 2005.
- [12] C. J. Garcia-Orellana, M. Macias-Macias, H. Gonzalez-Velasco, A. GarciaManso, and R. Gallardo-Caballero, "Remote laboratory experiments of Analog Electronics based on 'RedPitaya'", Tecnología, Aprendizaje y Enseñanza de la Electrónica (TAE 2016), Sevilla (Spain), Jun. 2016, pp. 1-7, doi: 10.1109/TAE 2016.7528244.
- [13] Garcia-Loro et al., "Remote laboratory VISIR: recent advances, initiatives, federation, limitations and future", 2021 IEEE Global Engineering Education Conference (EDUCON), Vienna (Austria), Apr. 2021, pp. 1754-1757, doi: 10.1109/EDUCON46332.2021.9453961.