

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES – ITBA  
ESCUELA DE INGENIERÍA Y GESTIÓN



AUTOR/ES

Fernandez Rojo, Juan Pablo (Leg. N° 53164)  
Kochian, Daniel Jonás (Leg. N° 54110)

DOCENTE/S TITULAR/ES O TUTOR/ES

Dolagaratz, Gonzalo Matías

TRABAJO FINAL PRESENTADO PARA LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE  
INGENIERO EN INFORMÁTICA

Fecha: 03/08/2020

## Abstract

Se conoce como energía solar a aquella que utiliza la radiación solar para generar electricidad, ya sea mediante paneles fotovoltaicos (energía solar fotovoltaica) o bien utilizando el calor para evaporar agua y mover turbinas generadoras de electricidad (energía solar térmica). Cabe destacar que en el presente informe nos referimos a la primera.

En el presente trabajo se analizarán las mejoras implementadas a fin de aumentar la eficiencia en la producción de energía solar utilizando paneles fotovoltaicos, así como también la automatización de múltiples tareas y gestión de la granja.

La elección está vinculada tanto al reciente incremento de inversiones en el área de energías sustentables, a la reducción de costos en la construcción de paneles fotovoltaicos y a la importancia que ha tomado en el contexto mundial la conciencia social respecto a los niveles de emisión de carbono y la importancia en reducir las mismas.

Se decidió que este trabajo lleve el nombre “KoFe” por ser un acrónimo conformado por las primeras dos letras del primer apellido de los integrantes.

# Índice

<b>Abstract</b>	<b>1</b>
<b>Índice</b>	<b>2</b>
<b>Justificación del trabajo</b>	<b>5</b>
<b>Estado del arte</b>	<b>11</b>
<b>Objetivos</b>	<b>14</b>
Limpieza	15
Condiciones climatológicas adversas	15
Información	15
<b>Requerimientos</b>	<b>15</b>
Funcionales	15
No funcionales	16
<b>Prototipos</b>	<b>16</b>
Front end	16
Prototipo	17
Dashboard	17
Disposición de paneles	18
Búsqueda de paneles	19
Panel	20
Panel de control	21
Primer approach	22
Dashboard	22
Distribución de paneles	23
Panel	24
Panel de control	25
Perfil	26
Estructura	26
<b>Diseño</b>	<b>30</b>
Alto nivel	30
Bajo nivel	31
Servidor back end	31
API's	31
Protección por clima adverso	32
Trabajos y notificaciones	32
Reportes	34
Integración con el hub	35

Configuraciones	35
Organización de los Stations	36
Persistencia de datos	36
Hub	36
API	37
Detección de nuevos y viejos Stations	37
Actualización del estado de un Station	38
Recopilación de datos censados	38
Station	39
Consideraciones	39
Front End	40
Login	40
Olvidó su contraseña	41
Resetear contraseña	42
Dashboard	43
Distribución de paneles	44
Panel	47
Trabajos	52
Reportes	54
Usuarios	55
Usuario	57
Panel de control	58
Notificaciones	59
Configuración del usuario	61
Perfil	61
Cambio de contraseña	62
Colapsar menú izquierdo	63
Protocolo de comunicación	64
Introducción	64
Paquete	65
Encabezado	66
Contenido	66
Arduino	66
Hub	68
<b>Análisis de datos</b>	<b>68</b>
<b>Conclusiones</b>	<b>75</b>
<b>Mejoras a futuro</b>	<b>78</b>
Detección de manchas	78
Validación del RFID	78
Reportes de subconjuntos	79
Roles adicionales	79

Distribución de paneles	79
Calibración automática	79
<b>Anexo</b>	<b>80</b>
Esquema 1: Flow del protocolo de comunicación para Arduino	80
<b>Bibliografía</b>	<b>81</b>
Investigación	81
General	81
Suciedad	82
Solar Tracking	82
Implementación	83
Estructura	83

## Justificación del trabajo

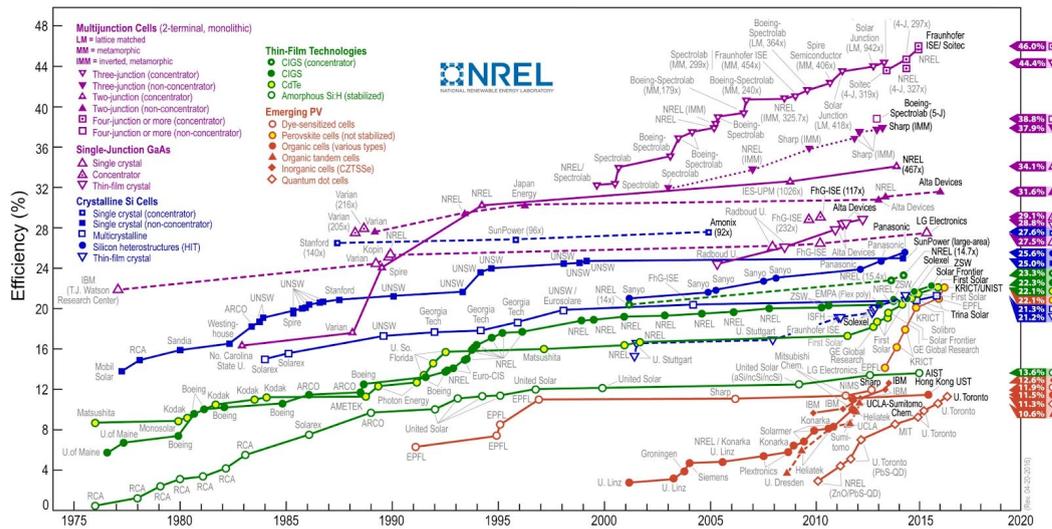
Existe a nivel mundial una tendencia que puede ser observada a lo largo de los últimos años, en la cual se denota un notable incremento en las inversiones para crear instalaciones de paneles solares fotovoltaicos (en adelante llamados paneles solares) (ver *Gráfico 1*).

	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
Billion USD											
<b>New Investment by Stage</b>											
<b>Technology Research and Start-up</b>											
Government R&D	5.4	4.9	4.8	4.7	5.2	4.5	4.4	5.1	5.1	5.5	5.7
Corporate R&D	3.3	3.8	4.3	4.1	4.0	4.3	4.1	4.3	6.9	7.8	7.7
Venture capital	1.6	2.6	2.6	2.4	0.8	1.0	1.4	0.8	0.8	0.2	1.2
<b>Scale-up</b>											
Public markets	11.7	10.6	9.9	3.8	9.8	14.9	12.0	6.2	5.6	6.0	6.6
Private equity expansion capital	3.0	5.3	2.4	1.6	1.3	1.7	1.8	1.7	0.7	2.2	1.8
<b>Projects</b>											
Asset finance	111.8	152.2	189.6	170.1	171.5	228.4	267.7	247.5	272.6	242.0	230.1
(re-invested equity)	-3.7	-1.8	-2.1	-2.9	-1.2	-3.5	-6.7	-4.1	-2.9	-5.8	-3.4
Small-scale distributed capacity	34.7	60.9	75.1	69.9	40.2	36.7	32.6	32.5	42.5	38.2	52.1
<b>Total New Investment</b>	<b>167.8</b>	<b>238.5</b>	<b>286.6</b>	<b>253.7</b>	<b>231.7</b>	<b>288.1</b>	<b>317.3</b>	<b>293.9</b>	<b>331.4</b>	<b>296.0</b>	<b>301.7</b>
<b>Merger &amp; Acquisition Transactions</b>											
	61.5	57.3	75.0	65.7	67.0	88.8	108.1	133.9	146.2	151.5	100.7
<b>Total Transactions</b>	<b>229.3</b>	<b>295.8</b>	<b>361.6</b>	<b>319.3</b>	<b>298.7</b>	<b>376.9</b>	<b>425.4</b>	<b>427.8</b>	<b>477.7</b>	<b>447.5</b>	<b>402.4</b>
<b>New Investment by Technology</b>											
 Wind power	72.5	97.8	83.3	78.3	83.3	111.1	119.7	123.5	133.4	132.7	142.7
 Solar power	63.6	102.0	160.1	144.0	120.4	147.8	176.6	145.9	180.8	143.5	141.0
 Biomass and waste-to-energy	13.4	17.3	20.9	15.4	14.6	13.1	10.4	15.2	7.4	11.5	11.2
 Biofuels	9.4	10.1	10.5	7.7	5.1	5.5	3.6	2.1	3.3	3.3	3.0
 Hydropower <50 MW	6.0	8.2	7.7	6.3	5.7	7.4	4.2	4.3	4.0	2.3	2.5
 Geothermal	2.5	2.8	3.8	1.7	2.4	2.9	2.5	2.7	2.4	2.5	1.2
 Ocean power	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
<b>Total New Investment</b>	<b>167.8</b>	<b>238.5</b>	<b>286.6</b>	<b>253.7</b>	<b>231.7</b>	<b>288.1</b>	<b>317.3</b>	<b>293.9</b>	<b>331.4</b>	<b>296.0</b>	<b>301.7</b>

*Gráfico 1: Tendencias de inversiones globales en energías renovables 2009-2019.<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> "The REN21 Renewables 2018 Global Status Report - GFSE." 7 jun.. 2018, [https://www.gfse.at/index.php?id=40&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=203&cHash=df993b0942572cb98231f251a2ad3dbe](https://www.gfse.at/index.php?id=40&tx_ttnews%5Btt_news%5D=203&cHash=df993b0942572cb98231f251a2ad3dbe)

Este incremento se ve influenciado principalmente por tres motivos. El primero de ellos es una caída en el costo de la producción de paneles solares debido a los avances tecnológicos, así como también un incremento en la eficiencia y calidad de los mismos (ver *Gráfico 2.1* y *Gráfico 2.2*).



*Gráfico 2.1: Eficiencia de los diferentes paneles solares 1975-2020.<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> "Best Research-Cell Efficiency Chart | Photovoltaic ... - NREL." <https://www.nrel.gov/pv/cell-efficiency.html>. Se consultó el 1 ago.. 2020.

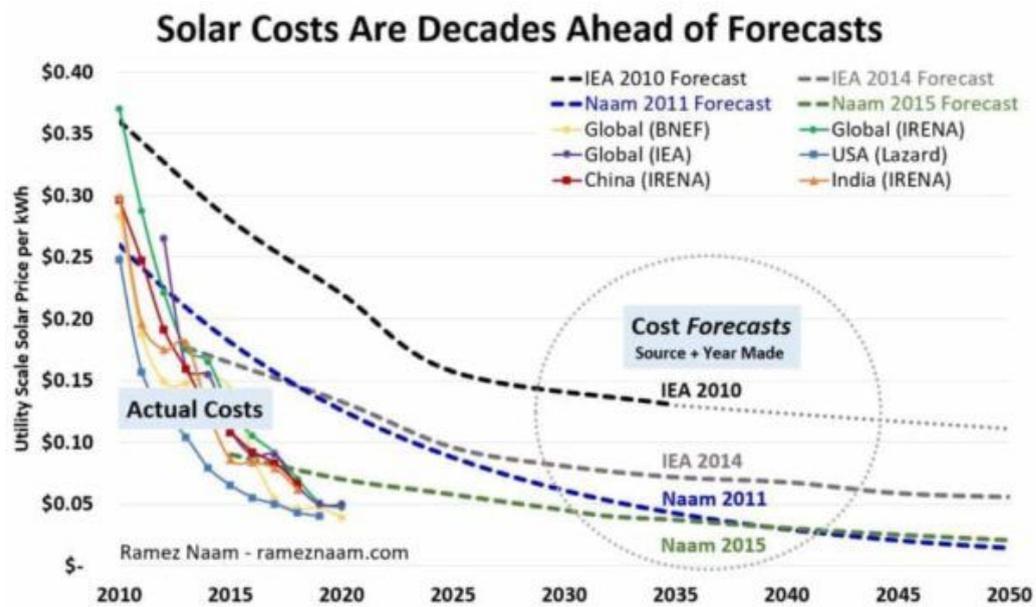


Gráfico 2.2: Precio por Watt en utilidades vs proyecciones 2010-2050.<sup>3</sup>

Por otra parte, el aumento de la conciencia social respecto a las emisiones de carbono se ve reflejado no solo en reclamos sociales, si no en políticas económicas gubernamentales, las cuales van desde favorecer inversiones en plantas de producción con fuente en las energías renovables y penalizar la producción de energía con base en quema de combustibles o fuentes de emisión de carbono hasta políticas que fijan plazos para lograr la no emisión (ver Gráfico 3).

<sup>3</sup> "Solar's Future is Insanely Cheap (2020) – Ramez Naam." 14 may.. 2020, <https://rameznaam.com/2020/05/14/solars-future-is-insanely-cheap-2020/>

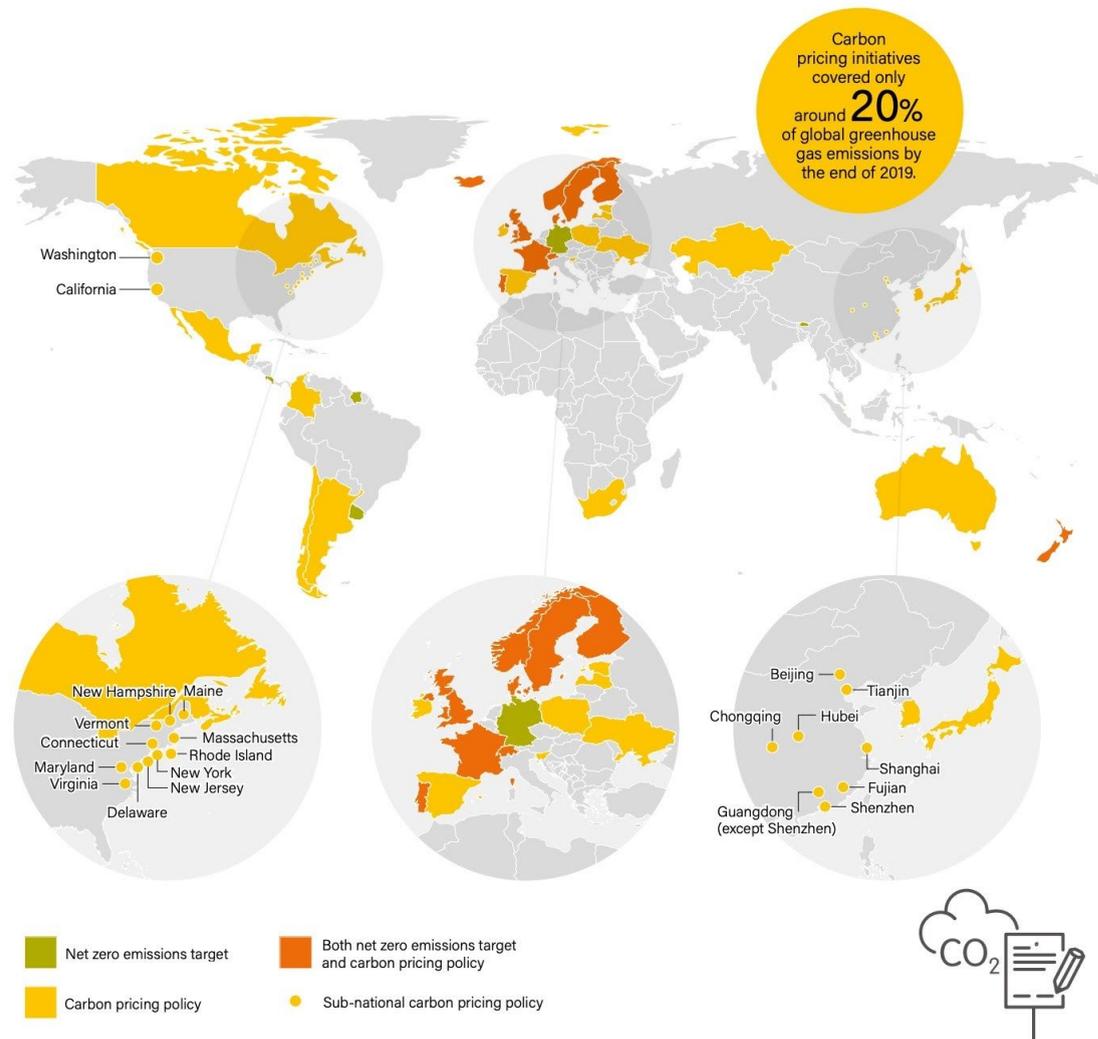


Gráfico 3: Países con políticas para el cambio climático a principios del 2020.<sup>4</sup>

Finalmente, pero no por eso menos importante, otro factor que motiva este aumento en la producción de energías renovables es un marcado incremento en la demanda de energía eléctrica debido al crecimiento de la economía global (ver Gráfico 4), la Argentina no es una excepción a la tendencia. A la hora de satisfacer las necesidades eléctricas del país y generar menos contaminación, en el momento que se comenzó el presente trabajo, se adjudicaron 41 proyectos a nivel nacional para la generación de electricidad a través de la captación de la radiación solar fotovoltaica, y 106 proyectos para el resto de las energías alternativas. El Ministerio de Energía y Minería esperaba que para fines del 2019 las energías renovables aporten el 12% del consumo de energía eléctrica nacional, y para fines

<sup>4</sup> "The REN21 Renewables 2018 Global Status Report - GFSE." 7 jun.. 2018, [https://www.gfse.at/index.php?id=40&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=203&cHash=df993b0942572cb98231f251a2ad3dbe](https://www.gfse.at/index.php?id=40&tx_ttnews%5Btt_news%5D=203&cHash=df993b0942572cb98231f251a2ad3dbe)

del 2025 el 20%. Debido a cambios en las políticas nacionales el objetivo para 2019 no se cumplió, alcanzando un porcentaje del 8% (ver Gráfico 5).

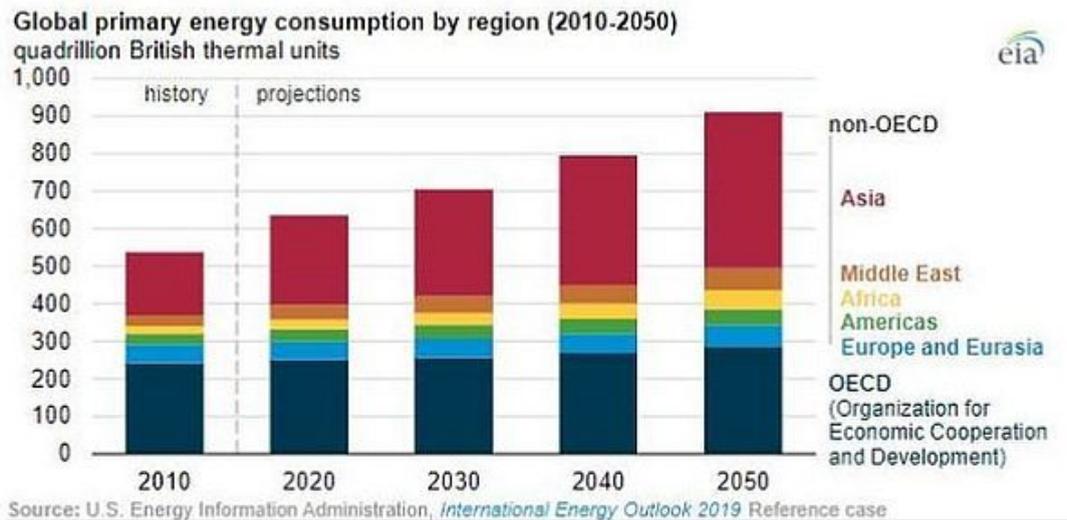


Gráfico 4: Proyecciones de consumo respecto del año 2010.<sup>5</sup>



Gráfico 5: Producción de energía renovable por mes y porcentaje del total de la grilla eléctrica.<sup>6</sup>

En este contexto, se investigó sobre las consecuencias de diferentes problemas relacionados a la generación de energía y la integridad física del panel. El primero de estos

<sup>5</sup> "eia projects 50% increase in world energy consumption by 2050." 4 ene.. 2020, <http://www.energyglobalnews.com/eia-projects-50-increase-in-world-energy-consumption-by-2050/>

<sup>6</sup> "Histórico Energías Mensuales - Renovables | Cammesa." <https://despachorenovables.cammesa.com/historico-energias-mensuales/>

problemas es acerca de la suciedad que se acumula sobre los paneles que puede dificultar la captación de los rayos solares. Otro problema es el granizo, el cual podría dañar el vidrio del panel al impactar contra el mismo. De la misma manera, se desea crear un producto robusto y completo que sea capaz de informar a los usuarios que posean paneles solares las diferentes mediciones que se puedan establecer para darle a los mismos datos concretos acerca de la generación de energía. Se busca implementar una plataforma web en el que se pueda ingresar y observar los diferentes datos e información, así como también brindarle la posibilidad de realizar diferentes acciones sobre los paneles y los sensores, las cuales se detallarán más adelante.

Debido a la envergadura del proyecto se decidió dividirlo en 2 etapas. Con el fin de determinar la viabilidad y estado tecnológico actual, la primera etapa consistió en una extensa investigación, cuyo resultado fue la recolección de los datos publicados que posibilitaron la elaboración del estado del arte.

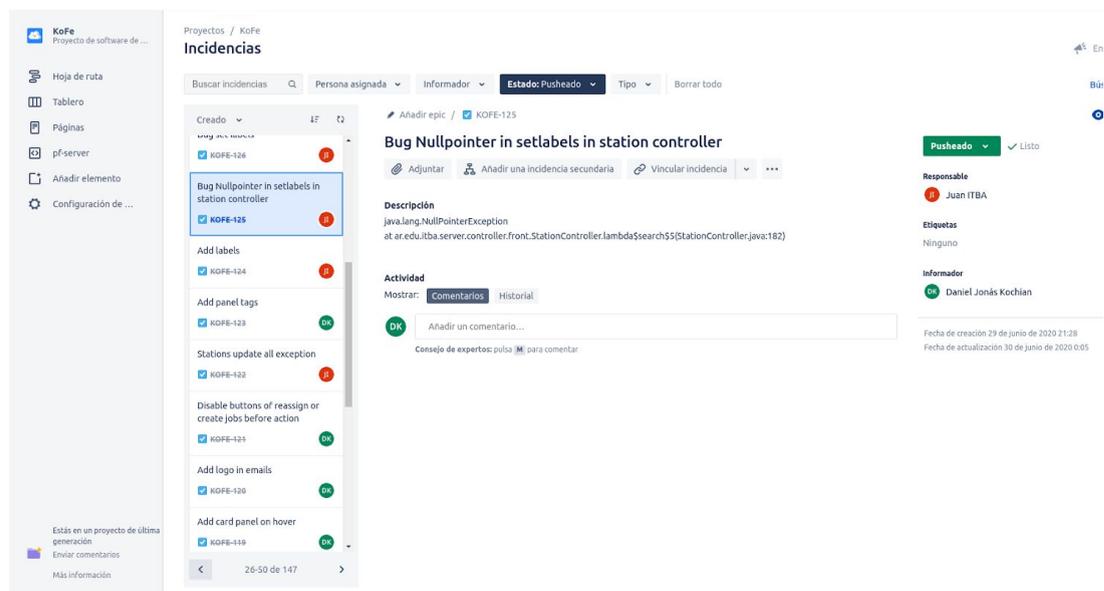
Por otro lado, la segunda etapa consistió en la implementación de un MVP del proyecto, así también como el prototipo necesario de la estructura no solo para mostrar las diversas funcionalidades, sino también para recopilar datos necesarios con la finalidad de corroborar el cumplimiento de los objetivos planteados. En esta etapa, con el objetivo de poder reaccionar de forma eficiente ante diversos cambios y dificultades o imprevistos que podían enfrentarse, se decidió utilizar una metodología ágil de desarrollo, así también como un modelo incremental en las funcionalidades implementadas, permitiendo de esta forma en cada instante obtener una versión funcional del proyecto.

Adicionalmente y a fin de aislar los componentes y poder no solo testarlos mejor, si no también desarrollarlos de forma independiente (y por lo tanto más rápidamente) se crearon 3 ambientes de trabajo, los cuales se explican a continuación:

- **Local:** Es un ambiente como su nombre lo indica 100% local, es decir, que las interacciones con los sistemas externos se encuentran aprovisionadas por implementaciones falsas (datos mockeados). Del mismo modo, se decidió utilizar una base de datos que fuera in memory para evitar conexiones y posibles problemas (por agentes externos), por lo que se utilizó H2 no solo por cumplir con los requisitos planteados, sino también por estar integrada con spring-boot.
- **Dev:** Es un ambiente que cuenta con interacciones reales tanto para los sistemas externos como internos, pero estos últimos se encuentran configurados de forma local, es decir que no existen problemas de conexión contra los mismos. Finalmente la base de datos utilizada para estos ambientes nuevamente es un H2.

- **Prod:** Este es el ambiente final y cuenta con todas las integraciones configuradas de manera productiva, así también como con la configuración para utilizar una base de datos persistente (en este caso PostgreSQL).

Finalmente cabe destacar que a fin de organizar las tareas de bajo nivel, determinar su estado y realizar un seguimiento, se decidió utilizar un Jira (ver *Imagen 1*), y para la organización del código se utilizaron 4 repositorios git.



*Imagen 1: Jira utilizado para el seguimiento de bugs y nuevas funcionalidades.*

## Estado del arte

Se ha investigado en primer lugar qué ocurre con la producción de energía cuando los paneles poseen suciedad. Existen actualmente diferentes enfoques en las investigaciones y datos sobre el efecto que produce.

Se ha determinado en distintos papers y pruebas que existen varias cuestiones a tener en cuenta. Uno de ellas es el ángulo en el que se ubican los paneles. Resulta crucial el mismo a la hora de evaluar si la suciedad afecta en gran medida la captación de los rayos. Esto se debe a que por lo general la lluvia es un gran agente natural para el lavado de los paneles, entonces si el ángulo en el que los paneles fueron instalados es cero o muy pequeño, la suciedad queda estancada y no es removida haciendo que cuando se seque

genere a su vez mayor suciedad reduciendo de forma significativa la producción energética del panel.

Otra trata acerca del ambiente en el que se van a instalar los mismos. Una investigación de la Universidad de Duke y el Instituto Indio de Tecnología en Gandhinagar<sup>7</sup> apunta al polvo y la contaminación del aire como una de las principales razones por las cuales la energía solar no es tan buena como podría ser. De igual forma, los excrementos de las aves pueden generar manchas en los paneles, las cuales adicionalmente generan no solo una disminución en el porcentaje de los rayos solares captados, sino que también son la causa del efecto de manchas, el cual en algunos modelos de paneles puede generar cortocircuitos. Cabe destacar que este efecto no sólo reduce la generación de energía eléctrica del panel (debido a que las zonas con manchas no permiten captar los rayos del sol) sino que también pueden acortar la vida útil del mismo ya que en los puntos afectados se puede generar un incremento de temperatura considerable (ver *Imagen 1*).



*Imagen 1: Panel dañado por el efecto de manchas.*<sup>8</sup>

En segundo lugar hemos ahondado acerca de cómo las tormentas de granizo y altas velocidades de viento afectan físicamente a los paneles pudiendo ocasionar la destrucción de los mismos al desprender del suelo su soporte/estructura. Al contrario de lo que nosotros dábamos por sentado, los paneles poseen una gran resistencia a inclemencias climáticas (granizo). La siguiente cita explica lo mencionado:

*“Los fabricantes de paneles solares prueban sus productos para asegurarse de que sean capaces de resistir las tormentas de granizo. En la mayoría de los casos, los paneles*

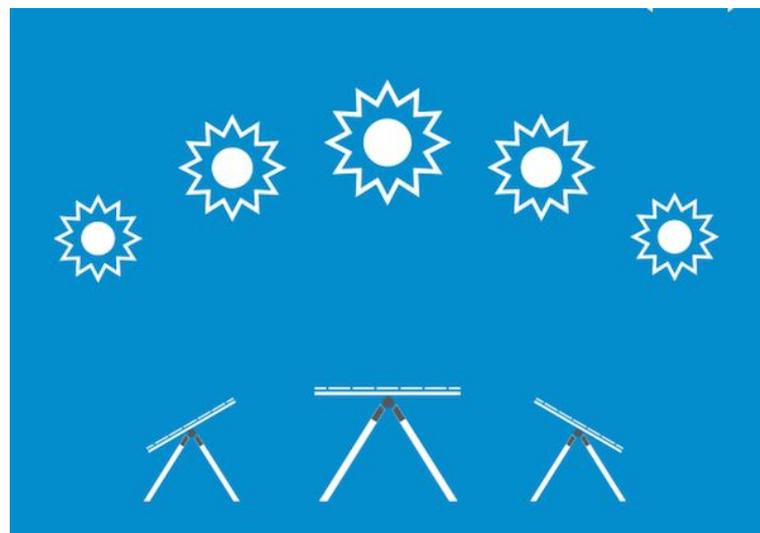
---

<sup>7</sup> "Air Pollution Casts Shadow over Solar Energy Production ...." 26 jun.. 2017, <https://pratt.duke.edu/about/news/solar-pollution>.

<sup>8</sup> "Efecto de las sombras en un panel solar fotovoltaico - SunFields." <https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/efecto-de-las-sombras-en-un-panel-solar-fotovoltaico/>

solares son probados y certificados para resistir granizo de hasta 25 mm (una pulgada) que cae a 23 metros por segundo (aproximadamente 50 millas por hora). De hecho, no hace mucho tiempo, el campus principal de NREL en Golden, Colorado fue golpeado con una fuerte granizada el mes pasado. De más de 3,000 paneles en o adyacentes al techo de un edificio con energía neta cero, solo un panel se rompió durante la tormenta. Para tener una idea de la intensidad de la tormenta, el mismo sistema meteorológico dejó ventanas rotas y abolladuras en vehículos y techos hogareños en el área de Denver. El único panel roto parecía haber sido golpeado simultáneamente con varias piedras de granizo grandes en un lugar muy concentrado, lo que provocó microfisuras en el vidrio de la superficie. La conclusión: el granizo puede ser una fuerza física impresionante, pero los paneles solares están bien equipados para resistir los impactos incluso de grandes granizos.”<sup>9</sup>

Otro punto estudiado trata acerca de la utilización de ejes para lograr captar mayor cantidad de radiación solar a lo largo del día. Lo que comúnmente se llama sistema de rotación (solar tracker o simplemente tracker) hoy en día se presenta de dos maneras diferentes, la primera es aquella que posea un solo eje en el que el panel puede moverse, haciéndolo de este a oeste (ver *Figura 1*) .



*Figura 1: Sistema de rotación de un solo eje.*<sup>10</sup>

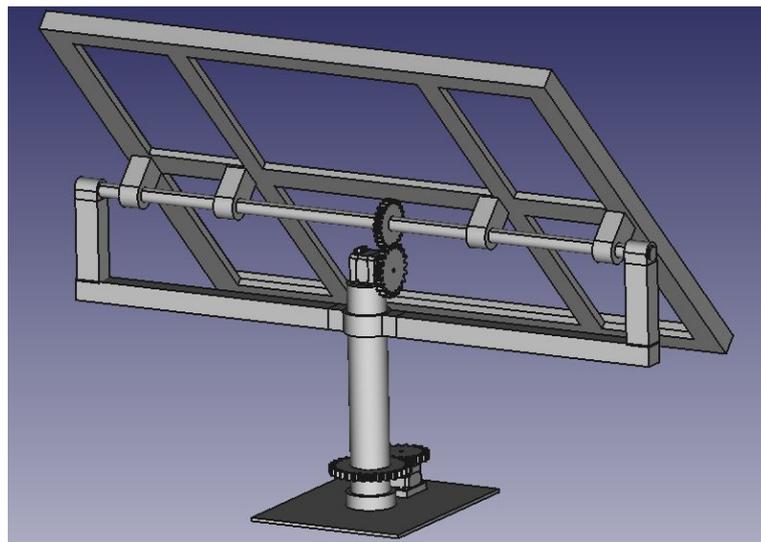
Se ha demostrado que al obtener un sistema de rotación de un solo eje mejora la eficiencia en la captación de la radiación solar de alrededor del 30%. Sin embargo, su

<sup>9</sup> "Can Solar Panels Withstand Hail and Hurricanes? | EnergySage." 8 jun.. 2017, <https://news.energysage.com/solar-panels-hail-hurricanes/>

<sup>10</sup> "Download Free png Diesel-Killing DIY Solar ... - DLPNG.com." <https://dlpng.com/png/7273812>

principal desventaja es que solo puede realizar la función de track a lo largo del día pero no el movimiento anual del sol.

De la misma manera, para maximizar la generación de electricidad, existen trackers que poseen dos ejes (ver *Figura 2*) para poder orientar de forma perpendicular el panel y los rayos solares, logrando una mayor captación. Se estima que el incremento en la energía producida por utilizar un sistema de rotación cómo se detalla anteriormente es de aproximadamente 80% respecto a un panel fijo. Si bien el sistema de rotación requiere del consumo de energía, el incremento anteriormente mencionado justifica ampliamente la utilización del mismo.



*Figura 2: Sistema de rotación de dos ejes.<sup>11</sup>*

## Objetivos

En pos de la investigación realizada y anteriormente detallada se decidió dar solución a las problemáticas a continuación planteadas mediante un sistema de control y gestión integral.

---

<sup>11</sup> "Dual Axis Solar Tracker | 3D CAD Model Library | GrabCAD." 23 ene.. 2016, <https://grabcad.com/library/dual-axis-solar-tracker-2>

## Limpieza

La solución implementada consta de diferentes puntos:

- Indicadores respecto a la producción y el estado actual de los paneles instalados.
- Sistema de gestión para la creación de trabajos (de mantenimiento o limpieza) de forma automática o manual.

Para esto se utilizan sensores cuyas mediciones posibilitan contrastar los parámetros de la producción actual, donde se toma en cuenta el clima, y la producción histórica a fin de determinar el estado de cada panel en tiempo real.

## Condiciones climatológicas adversas

A fin de proteger las instalaciones de las inclemencias del tiempo, se propone un sistema compuesto por información meteorológica relevante y configuraciones de rotación, según las cuales el sistema de forma automática las pondrá en ejecución en caso de ser necesarias.

## Información

Dotar a los operarios de un sistema que brinde información precisa y relevante sobre los paneles de forma individual o a su vez de la granja de paneles. Además, mediante el sistema se podrá ingresar las configuraciones pertinentes a la granja y realizar cambios manuales como por ejemplo configurar el sistema meteorológico acorde a la ubicación, así como también orientar los paneles a una posición fija.

## Requerimientos

### Funcionales

- El panel debe rotar siguiendo el sol (perpendicular al mismo) de forma automática o manual según lo configure el usuario.
- El usuario debe contar con la información meteorológica pertinente.
- El panel debe quedar en posición bandera (paralelo al suelo) ante vientos fuertes.
- El usuario debe contar con la posibilidad de configurar los parámetros de acción del sistema.

- La plataforma debe soportar distintos tipos de usuarios con distintos permisos.
- La plataforma debe gestionar de forma automática los trabajos de los paneles.
- El usuario debe contar con la información en tiempo real sobre el estado y otros datos relevantes de los paneles (de forma individual y en su conjunto).
- El usuario debe ser informado sobre la ejecución de los comandos que envía, es decir si fueron recibidos y realizados o no.
- Los usuarios deben ser identificados por el sistema de forma inequívoca.
- La plataforma debe soportar la utilización de unidades métricas e imperiales, así como también del español e inglés.
- La plataforma debe permitir una gestión básica de usuarios.
- La plataforma debe contar con la generación de reportes relacionados a la granja.
- La plataforma debe tener un sistema de notificaciones vía email y en la plataforma.
- La plataforma debe permitir segmentar los paneles en subconjuntos.
- El sistema debe permitir la detección automática en la conexión de nuevos o viejos paneles y su desconexión.
- Los nuevos paneles deben configurarse de forma automática.
- El sistema debe soportar grandes cantidades de paneles.

## No funcionales

- Tanto los datos de los usuarios, como los datos de los paneles deben estar seguros, es decir no todos pueden acceder a la información sensible.
- El sistema debe tolerar la inclemencias temporales y las dificultades que las mismas puedan ocasionar en la comunicación.
- El sistema debe permitir su fácil extensión.
- El sistema debe soportar la falla en la comunicación de Internet.
- En caso de una falla grave en un panel, el sistema no debe dejar de registrar datos.

## Prototipos

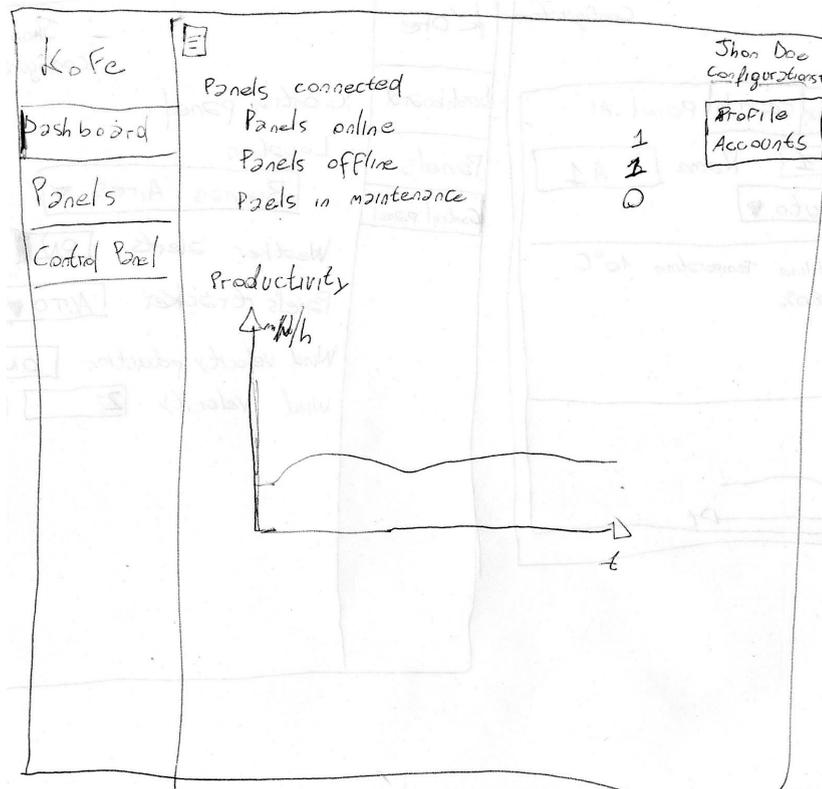
### Front end

En este apartado se podrá visualizar el primer prototipo de las pantallas más importantes de la manera que se habían concebido en un primer momento, y, a su vez, del

primer approach desarrollado ya con algunas diferencias de lo que se había planteado en primer término.

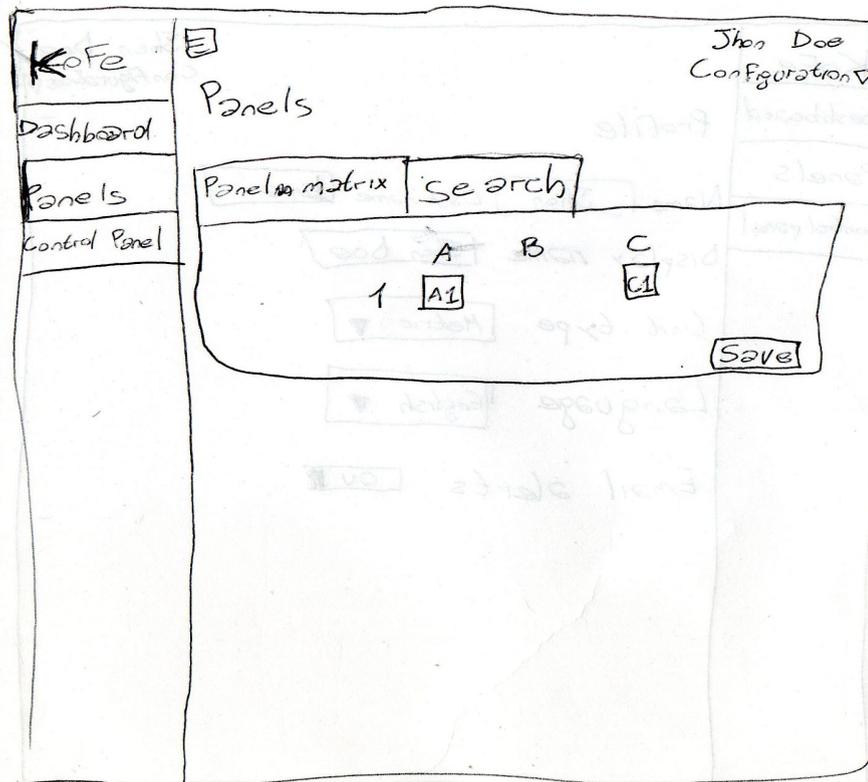
## Prototipo

### Dashboard



*Imagen 1: Captura del dashboard de la plataforma donde se visualiza el menú de navegación izquierdo y el menú superior. Esta pantalla originalmente se pensó para mostrar los diferentes estados de los paneles con la cantidad asociada respectivamente, y, además, el gráfico de producción de energía con la suma de todos los paneles que estén conectados.*

## Disposición de paneles



*Imagen 2: En esta pantalla se visualizaban originalmente la disposición de todos los paneles, permitiendo al usuario modificar la ubicación de los mismos.*

## Búsqueda de paneles

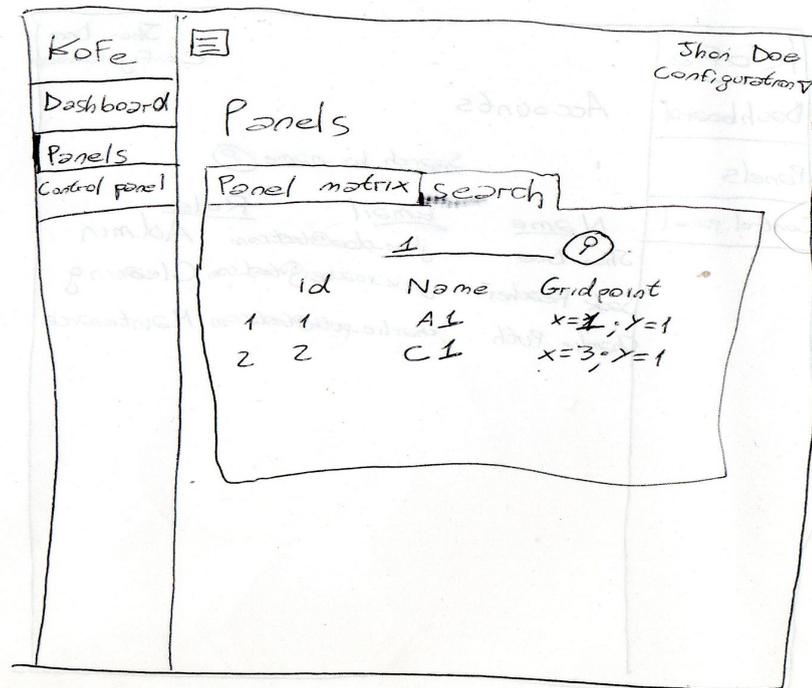
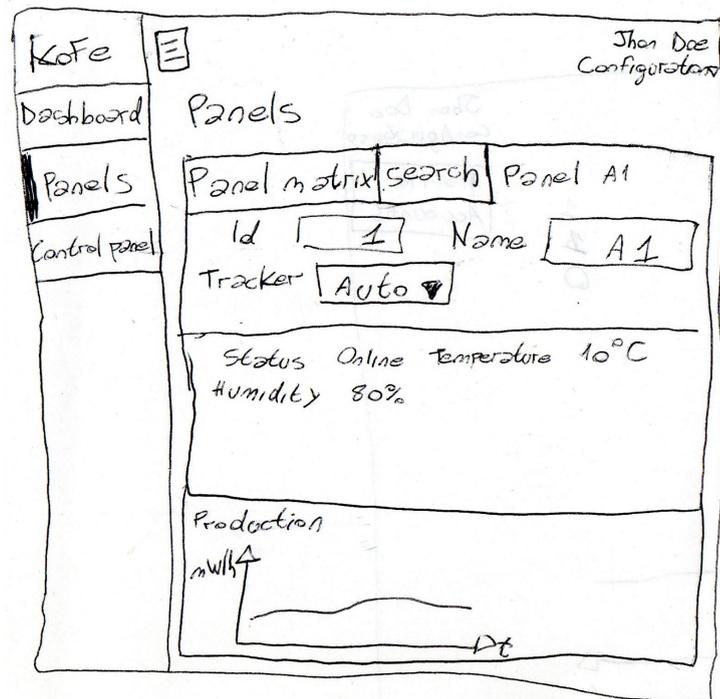


Imagen 3: Esta imagen muestra la pestaña exclusiva para la búsqueda de paneles, listando los resultados encontrados, ya sean por id o por parte del nombre. En esta lista se visualiza también la posición en la matriz de cada panel.

## Panel



*Imagen 4: En la misma página del módulo de paneles, se muestra la información sobre un panel en particular con su id, nombre, el modo del tracker; su estado, la temperatura y humedad registrada desde el panel, y por último el gráfico de productividad de ese panel individualmente.*

## Panel de control

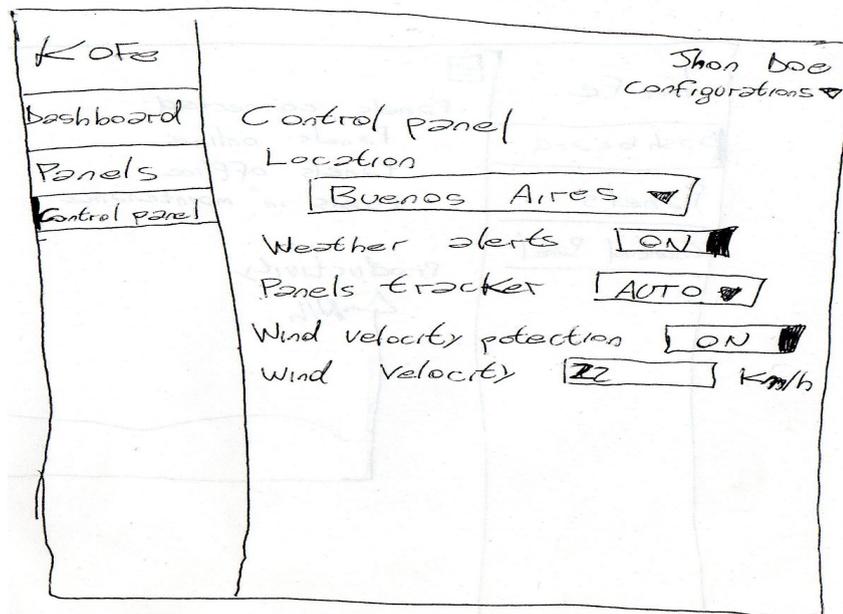
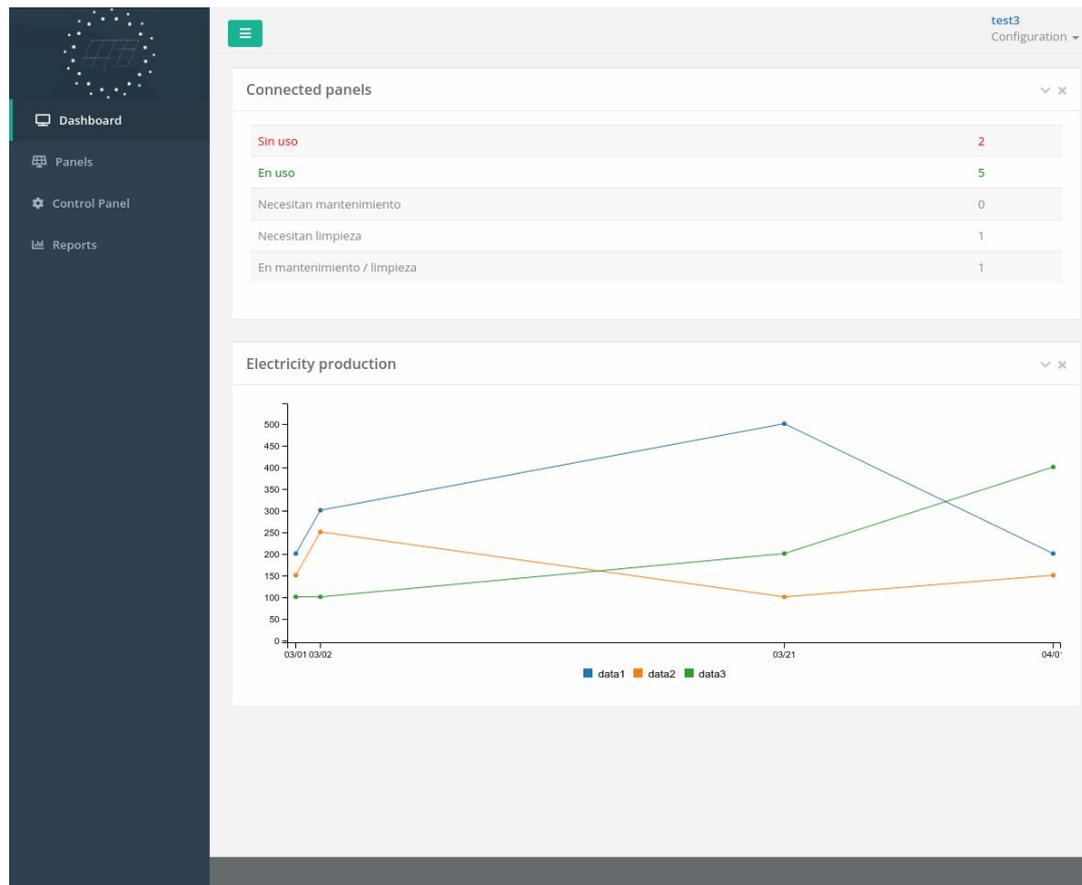


Imagen 5: El módulo de panel de control se pensó para que el usuario pueda introducir la ubicación de la granja (para permitir la integración con un sistema meteorológico), poder recibir alertas del pronóstico del tiempo, el modo del tracker de todos los paneles y por último si se quería habilitar la protección automática por fuertes vientos, poniendo a para este último, la velocidad para la protección de los paneles.

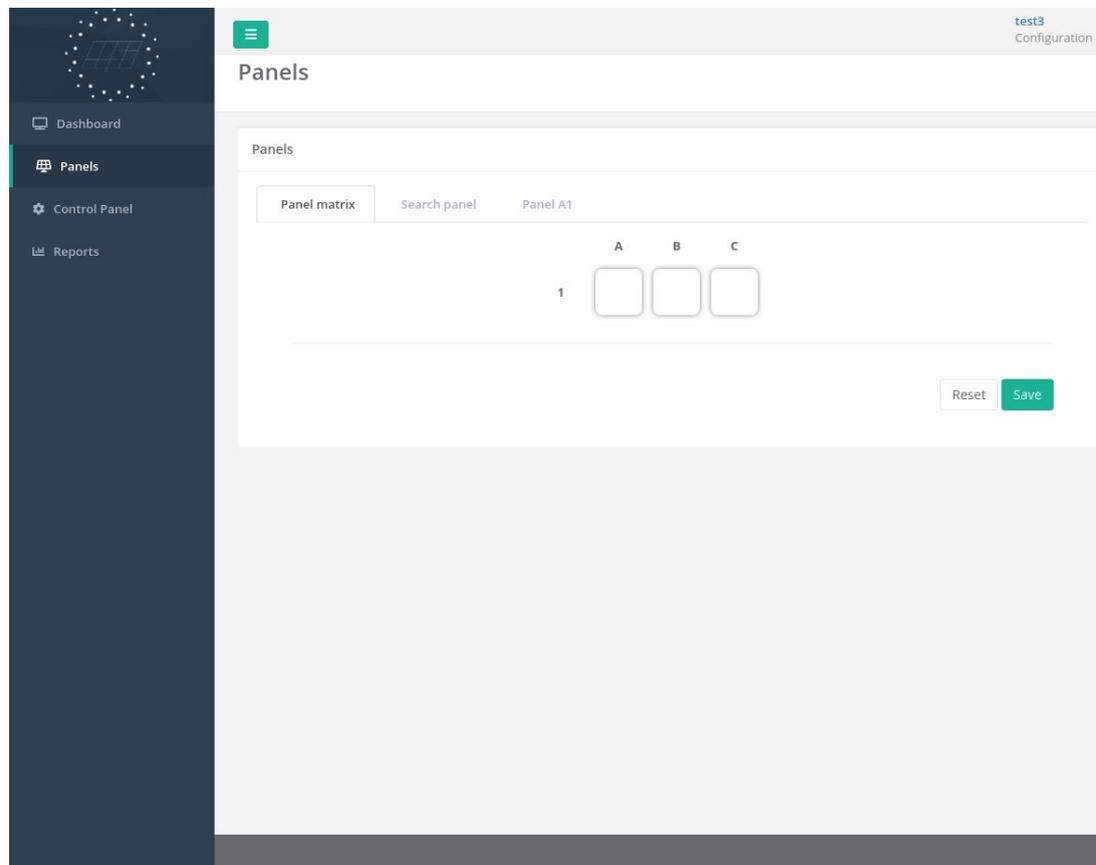
## Primer approach

## Dashboard



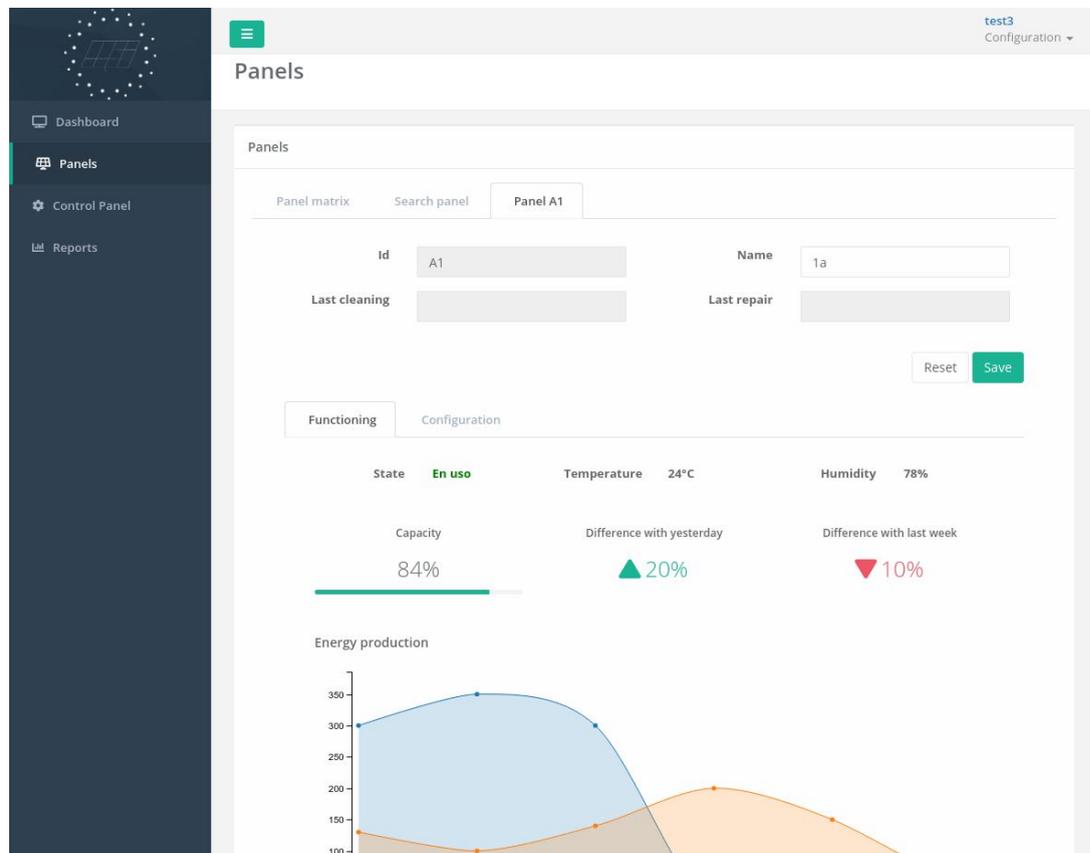
*Imagen 1: El dashboard mantuvo el diseño original, manteniendo el gráfico similar real time con la producción de energía. En esta etapa se comenzó a trabajar sobre el módulo de "Reportes" que se visualiza en la navegación a la izquierda de la página.*

## Distribución de paneles



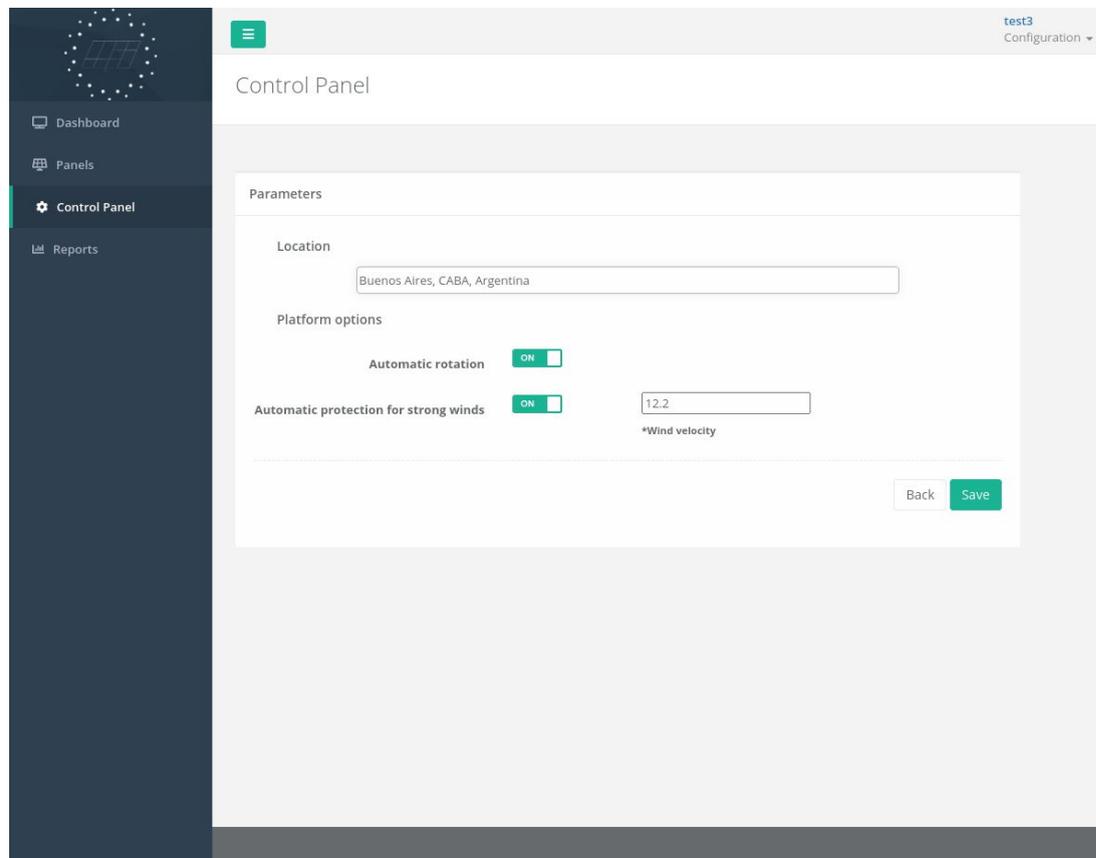
*Imagen 2: Al igual que el dashboard, la pantalla se desarrolló en un principio sin variantes, pudiendo acceder a un panel específico haciendo clic sobre su figura.*

## Panel



*Imagen 3: En esta pantalla se puede visualizar que hubieron cambios ya que se agregaron los campos de capacidad actual del panel, fecha del último mantenimiento y limpieza, comparaciones de producción, y se puso en otra pestaña la configuración del panel.*

## Panel de control



*Imagen 4: El panel de control se encontró con pocas variantes respecto al prototipo, agregando con un componente de tipo switch si los paneles rotan de forma automática o no.*

## Perfil

The screenshot shows a web interface for user profile management. On the left is a dark sidebar with a logo and menu items: Dashboard, Panels, Control Panel, and Reports. The main area is titled 'User profile' and contains a 'Parameters' section with a 'Change password' button. The 'User' section includes text input fields for Name (test), Last name (test), and Display name (test3). The 'Units' section has dropdown menus for Temperature unit (C°) and Speed unit (km/h). The 'Notifications' section has a toggle for Email alert notifications (ON). The 'Language' section has a dropdown menu set to English. At the bottom right, there are 'Reset' and 'Save' buttons.

*Imagen 5: La vista de perfil fue diseñada para que el usuario pueda elegir el idioma a utilizar en la plataforma, las unidades de temperatura y velocidad, permitir apagar las notificaciones por email, poder modificar su nombre, apellido y el nombre a mostrar, y por último, navegar hacia el módulo para cambiar su contraseña.*

## Estructura

El fin de la estructura es permitirle al panel rotar en ambos ejes proveyendo la solidez necesaria para poder soportarlo. La misma debe lograr soportar la conexión de diferentes sensores ubicándolos en lugares específicos (cómo por ejemplo los fotoresistores que deben ir al frente de la estructura para lograr captar la mayor cantidad de rayos del sol posible).

Debido a que la estructura es solo un prototipo y tiene un carácter demostrativo se decidió realizar la misma mediante la impresión 3D, debido a la simplicidad y facilidades otorgadas por esta técnica (en contraposición con la soldadura o caladura para la

construcción de un prototipo más robusto). Para poder hacer esto se contó con el laboratorio de impresión en 3D de la facultad. El ingeniero y titular de la cátedra Jorge Eduardo Leporati de la materia 11.34 - Taller de Modelización de Productos nos solicitó asistir a distintas clases para que podamos comprender de qué manera se realizaba la impresión aprendiendo en profundidad el funcionamiento de esta técnica y, además, para adaptar los planos obtenidos al formato que ellos solicitaban y en una escala acotada a las capacidades de las impresoras con las que se disponía para fines educativos.

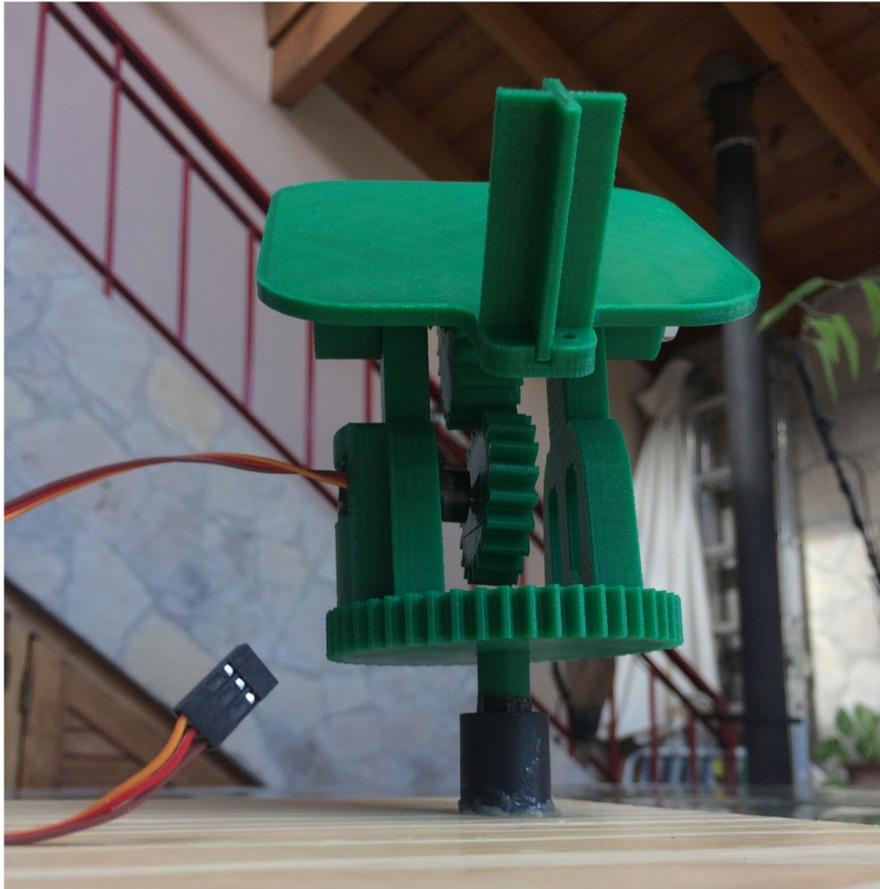
Una vez que las clases terminaron se avanzó con la impresión de un sólo prototipo para evaluar por nuestra parte si era lo que verdaderamente necesitábamos y/o para hacer cambios. Logramos adaptar la estructura a lo que necesitábamos y brindarle una base para que pueda mantenerse firme (ver *Imagen 1*).



*Imagen 1: Construcción de la base de la estructura de rotación.*

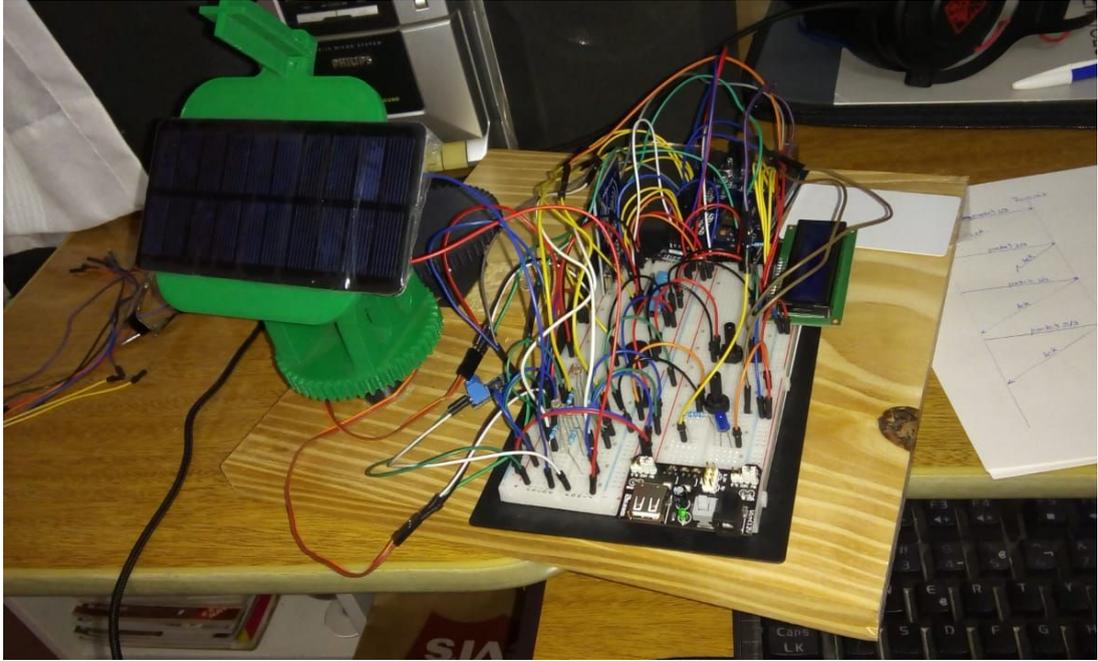
Al haber finalizado la base, se continuó con el ensamblado final de la estructura (ver *Imagen 2*). Por delante del soporte del panel se ubica un separador que permite insertar los fotoresistores para captar de la mejor manera los rayos provenientes del sol. Además, la

estructura consta de dos engranajes movibles que le permiten al panel rotar de forma vertical y horizontal. Estos llevan consigo conectados a los dos motores. Cabe mencionar que el diseño de la estructura 3D no es de autoría propia, sino que se utilizó uno ya existente, el cual fue escalado para adaptarlo al tamaño del panel solar utilizado.

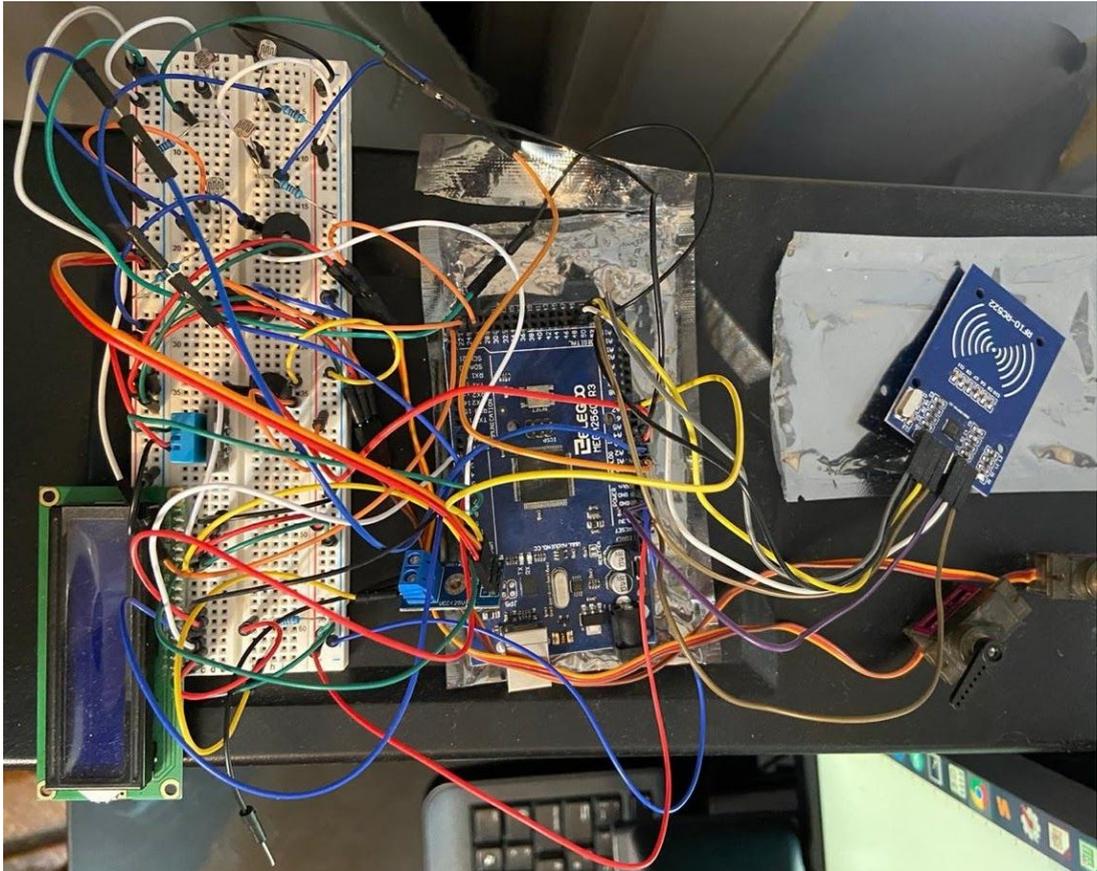


*Imagen 2: Estructura ensamblada con la base.*

A continuación, se puede visualizar el prototipo con la totalidad de conexiones (ver *Imagen 3*). Lamentablemente por cuestiones relacionadas a la epidemia que nos encontramos atravesando (COVID-19) que mantiene la facultad cerrada no pudimos imprimir el segundo prototipo como se pensó originalmente, quedando el segundo protoboard sin la estructura (ver *Imagen 4*).



*Imagen 3: Prototipo final.*



*Imagen 4: Prototipo incompleto.*

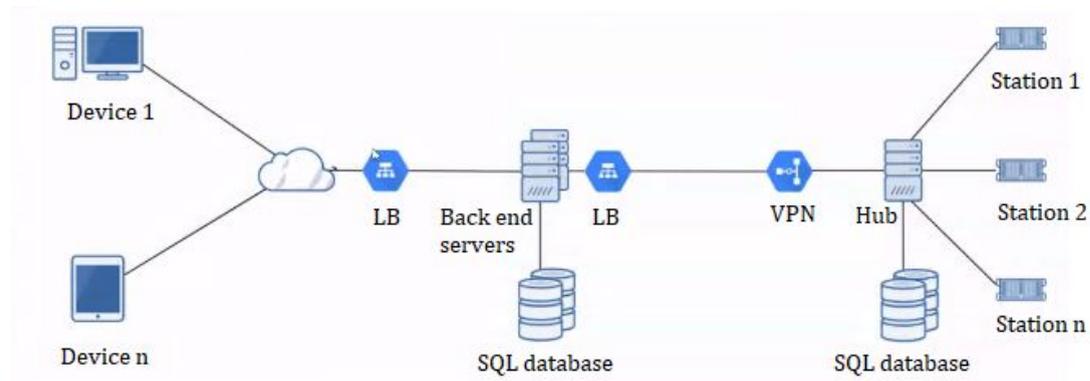
## Diseño

### Alto nivel

A fin de implementar una solución que cumpla con los requisitos funcionales y no funcionales se decidió implementar la arquitectura ilustrada (ver *Esquema 1*). La misma consta de los siguientes componentes:

- **Station:** se define como el conjunto de un panel, un arduino y los sensores. El mismo es el encargado de procesar y ejecutar los comandos recibidos por el Hub a fin de controlar el panel solar y los sensores anteriormente mencionados (a partir de ahora, por simplicidad, se usará de forma indistinta el término de Station y panel).
- **Hub:** es el servidor que articula la conexión de un conjunto de Stations y el clúster del servidor central. El mismo está dotado con una base de datos SQL para guardar datos relacionados de los Stations.

- **VPN:** a fin de garantizar la privacidad de los datos entre el servidor y los hubs se decidió que los datos se transmitan dentro de una VPN.
- **Servidor back end (o server):** se encarga de procesar la información brindada por los hubs a fin de mantener la misma de forma centralizada y fácilmente accesible. Articula las integraciones entre sistemas externos y los hubs.
- **Front end:** se encuentra alojado en la nube y es la interfaz gráfica responsive que utilizan los usuarios.



*Esquema 1: Arquitectura del proyecto.*

## Bajo nivel

### Servidor back end

El servidor backend es el encargado de coordinar y centralizar las tareas como la protección del clima (se realiza la integración en un único punto) y la detección de suciedad en un panel determinado, entre otros.

### API's

Se diseñaron dos API REST a fin de seguir los actuales estándares de la industria. La primera de ellas es el único punto que expone los datos relevantes sobre los Stations y los demás recursos del sistema. A su vez, esta API, es el punto de entrada para que los usuarios (u otro sistema) interactúen con los Stations enviando comandos o con el sistema general.

La segunda API se encarga de recibir los updates producidos por el Hub (cambios de estado, desconexiones, etc). Se decidió diseñarla de forma separada a fin de proteger la confidencialidad de los datos ya que la primer API se encuentra protegida por roles y autenticación de usuario y esta segunda se encuentra visible para una VPN.

## Protección por clima adverso

Se realizó una integración con una API de un sistema meteorológico (<https://openweathermap.org/>) para estimar de forma precisa el estado de un panel dada su producción energética actual (debido a un déficit respecto de su producción histórica o no y el pronóstico actual). Cabe destacar que para obtener la producción de cada panel el servidor realiza polling sobre el Hub (el tiempo de delay es configurable por el usuario y es independiente de otros polling realizados) para obtener los datos generados por el Station y almacenados en el Hub durante el intervalo de tiempo transcurrido desde la petición anterior. Para identificar cuales son los Station cuya producción no se encuentra dentro de los parámetros normales el Server adicionalmente realiza el cálculo del promedio de la producción histórica a lo largo del último año (últimos 365 días) para luego contrastarlo con la producción actual; si efectivamente la producción actual del Station se desviara de forma negativa y pronunciada respecto a la producción histórica, el sistema creará un trabajo de limpieza para el Station en cuestión a fin de intentar solucionar la anomalía. Se destaca que el sistema evitará realizar este cálculo si las condiciones meteorológicas no fueran favorables a la generación de energía eléctrica fotovoltaica, o bien, si al momento de realizar el cálculo no es de día.

Para que el panel pueda quedar en posición bandera ante vientos fuertes se requiere información específica de un sistema meteorológico. Con la finalidad de brindar al usuario mayor usabilidad de la plataforma este comportamiento es configurable de forma global, es decir, para el conjunto total de Stations.

Dado que ya se encontraba la integración realizada con los puntos anteriores, resultó útil aprovechar la misma y exponer además la información depurada para los usuarios para brindar un sistema de información meteorológica.

Con el propósito de ahorrar costos se optó por realizar la integración del sistema meteorológico en el servidor y no en el Hub permitiéndole al mismo centralizar y coordinar la rotación y estado de producción de los paneles. Esto se debe a que los sistemas meteorológicos cobran por la cantidad de request realizados mensualmente así como también por la reducción de tráfico generado.

## Trabajos y notificaciones

La plataforma cuenta con un sistema de trabajos los cuales permiten organizar las actividades que los operarios deben realizar sobre los Stations, las cuales se encuentran agrupadas en dos categorías diferentes denominadas Limpieza y Mantenimiento.

A fin de mantener un orden, se dispuso que los operarios también estén agrupados en las mismas categorías mencionadas anteriormente, y solo puedan realizar trabajos dentro de las mismas, es decir, un operario de limpieza no puede realizar trabajos de mantenimiento y viceversa.

Con el propósito de automatizar tareas manuales, la plataforma ante la presencia de anomalías en los Stations decidirá si se debe crear un trabajo o no, la categoría del mismo y lo asignará a un operario sin requerir intervención alguna. Cabe destacar que si algún operario lo desea y cuenta con los permisos requeridos puede reasignar este trabajo a otro operario, así como también crear un nuevo trabajo.

Para los trabajos de limpieza, el sistema realizará mediciones en la producción actual del panel a fin de cotejar las mismas con la producción histórica, para determinar si esta está o no por debajo del promedio. Además, el sistema coteja estos datos con los datos meteorológicos actuales a fin de evitar falsos positivos (es de público conocimiento que en los días nublados, lluviosos, etc, la producción de los paneles se reduce drásticamente debido a la menor cantidad de rayos solares que los impactan). Finalmente si se determinara que el panel efectivamente presenta un déficit en su producción, el sistema procederá a crear un nuevo trabajo de limpieza en el Station afectado.

Por otra parte, los trabajos de mantenimiento son generados ante fallas en la comunicación o anomalías en el funcionamiento de los Stations, como desconexiones o impedimentos a la hora de ejecutar acciones (emitidas por un usuario o el propio sistema). En el caso particular de las desconexiones, y por usar una conexión cableada entre los Stations y los Hubs (puerto serial), se implementó un algoritmo para evitar los falsos positivos, ya que algunas veces los Stations eran desconectados y conectados en cuestión de segundos, volviendo a operar con normalidad sin generar mayores conflictos en el sistema.

Los trabajos cuentan con un estado el cual permite indicar si el mismo está en progreso o bien ya fue realizado, así como también agregar comentarios si fuera necesario. En el caso de que un trabajo permanezca en progreso por un periodo mayor a N horas (configurable), el sistema procederá a realizar una reasignación del trabajo a otro operario que tenga menos cantidad de tareas de ser posible para, de esta forma, minimizar los tiempos de respuesta ante potenciales fallas y reestablecer el sistema en su conjunto lo antes posible.

Los operarios cuentan en su configuración personal con una opción que les permite habilitar o impedir que las alertas les sean enviadas a su email; la deshabilitación de esta funcionalidad, no impedirá que el sistema cree una notificación dentro de la plataforma

propia, pues son estas notificaciones las que informan al operario que tiene un nuevo trabajo disponible para realizar, que el mismo fue reasignado o bien que fue realizado exitosamente.

Finalmente es el sistema el que, de forma automática, se encarga de marcar como finalizados los trabajos. Para realizar esto se debe poder identificar a cada usuario de forma unívoca. Por lo tanto, se decidió asignarle a cada usuario durante su registro un código RFID, el cual deberá apoyar en el lector RFID con el que cuenta el Station al concluir el trabajo. Una vez que el Station detecta el RFID, lo almacena para informar posteriormente al Hub cuando este así lo solicite, quien a su vez propagara el evento al servidor que luego de cotejar la validez de los datos recibidos (RFID y Station afectado) a fin de efectuar la acción pertinente según el contexto al momento de la recepción de la información.

Existen tres situaciones distintas en el momento en que un usuario apoya su tarjeta en el lector de RFID de un Station:

1. Actualmente el sistema cuenta con un trabajo no finalizado asignado a ese usuario. En este caso, el Server al recibir el token del RFID procederá a cerrar el trabajo en cuestión.
2. Actualmente el sistema cuenta con un trabajo no finalizado asignado a otro usuario (con el mismo rol). En este caso, el Server al recibir el token del RFID ignorará la lectura ya que el trabajo antes mencionado se encuentra asignado a otro usuario.
3. Actualmente el sistema no cuenta con un trabajo no finalizado (para el rol del usuario). En este caso, el Server al recibir el token del RFID generará un trabajo nuevo cuyo estado será finalizado.

## Reportes

A la hora de brindarle al usuario mayor información, se diseñó un módulo de reportes que le permite a cualquier usuario lograr tener un seguimiento del funcionamiento de la granja. Estos reportes pre configurados, a su vez, cuentan con un tipo de periodo asociado ya que los reportes pueden recopilar datos de forma diaria, semanal o mensual. Para poder generar estos, se implementó un cron que corre todos los días a las 22:00 y chequea cuales son los que tienen que ser creados y cuáles no. En el caso de los reportes diarios serán creados todos los días de la semana, mientras que los semanales lo serán el primer día de la semana (domingo) y los mensuales se harán el primer día del mes.

Los reportes existentes son:

- Cantidad de trabajos: en este reporte, que recopila la información de forma diaria y semanal, se contempla la cantidad de trabajos realizados y en progreso de cada panel de la granja.
- Producción de energía eléctrica: el presente tiene la finalidad de informar por panel la producción de cada uno de forma semanal y mensual.
- Stations que se encuentran produciendo por debajo del promedio general: el fin de este reporte es informar cuáles son aquellos Stations que el promedio de lo producido es menor al promedio general de todos. Este reporte se elabora de forma diaria, semanal y mensual tomando los promedios de la producción del último día, de la última semana o del último mes respectivamente.

Para poder generar los últimos dos reportes, el Server almacena la producción diaria de cada Station. Estos datos son obtenidos a partir del Hub que guarda las mediciones que se van haciendo durante el día de cada Station y luego de forma diaria a las 00:30 AM, a través de la implementación de un cron, son recuperados por el Server.

### Integración con el hub

Para la comunicación con el hub, se optó por realizar una integración mediante una API REST, la cual permite la obtención de los datos censados, así como también el envío de comandos y cambio de configuraciones (tanto global como segmentada por Station).

### Configuraciones

La plataforma cuenta con 4 tipos de configuraciones posibles, las cuales dotan a los usuarios y administradores de una amplia gama de opciones.

- Configuración de usuario: Es inherente a cada usuario y permite configurar datos relevantes al mismo de forma independiente, por ejemplo el idioma.
- Configuración de archivo: Aquí se pueden configurar valores por default, URLs de integración, entre otras. Para realizar un cambio en esta configuración se debe modificar el archivo (actualmente tiene formato yaml), para luego compilar y deployar la aplicación afectada (tanto el Server como el Hub cuentan con un archivo propio).
- Configuración global: Dentro del sistema existe la posibilidad de configurar de forma global, es decir que afecta a todos los Stations, algunos parámetros tales como la protección climatológica.

- Configuración de un Station: Finalmente existe una configuración propia de cada Station, la cual permite configurar la misma de forma individual sin afectar el funcionamiento de otros Stations.

### Organización de los Stations

Debido a que puede haber múltiples conexiones de Stations, se desarrolló un sistema de matrices donde el usuario puede ubicar cada uno de ellos de una manera muy similar a la que se encuentren conectados físicamente permitiendo una identificación más sencilla de estos. A su vez, para permitir una identificación unívoca customizable por los usuarios, cada panel cuenta con un nombre que cómo se acaba de mencionar, no puede repetirse.

Por último, en pos de brindarle al usuario una mayor facilidad para identificar un subconjunto de paneles, se implementó una estructura de tags. Estos tags son añadidos en cada Station creándose de forma automática en caso que no existan. Esta funcionalidad resulta muy relevante ya que los usuarios podrán relevar distintas características de los paneles agrupándolos, por ejemplo, por el año en que fueron instalados esos paneles. Los usuarios podrán agregar la cantidad de tags que deseen.

### Persistencia de datos

A fin de almacenar los datos, se dispuso de una base de datos relacional para el servidor. En ella se almacenan datos de configuraciones globales, trabajos, hubs y Stations, pero a fin de evitar duplicar datos e incrementar de forma sustancial el tamaño de la base de datos requerida (debido al gran volumen de datos), los datos censados crudos (datos leídos por los sensores) no se persisten en esta base, si no que solo se guarda un extracto de los mismos (los reportes).

### Hub

Debido a que las granjas de paneles solares ocupan extensiones que pueden fácilmente alcanzar las decenas de kilómetros, lo cual hace un cableado ethernet poco práctico y costoso, se decidió crear nodos que funcionan como intermediario entre los Stations y el Back End Server, adicionalmente el mismo almacena los datos de los sensores. Para la comunicación entre el Hub y un Station se desarrolló un protocolo el cual permite establecer una comunicación sincrónica sobre el puerto serial el cual se explicará en profundidad más adelante.

Adicionalmente el Hub es el encargado de emitir el comando al Station para que el mismo reoriente el panel respecto a la ubicación actual del sol, detectar la conexión y desconexión de los mismos, así como también validar su estado.

## API

A fin de exponer los datos recopilados y posibilitar la interacción con los Stations, el Hub expone una API REST.

### Detección de nuevos y viejos Stations

El Hub cuenta con un cron el cual revisa los puertos que se encuentran conectados, de esta forma se logra un feature que permite el “plug & play” de un panel nuevo sin tener que realizar engorrosas configuraciones o reboots del sistema. Por otra parte, el sistema debe distinguir entre un panel que se conecta por primera vez y uno que ya ha sido conectado previamente (a fin de mantener la consistencia en los datos ante una posible desconexión accidental, o una falla técnica).

A fin de lograr esta distinción, se decidió que cada Station cuente con un identificador numérico único. Este, le será solicitado al momento de su conexión y en caso de no poseerlo se le asignará uno. El proceso de asignación es el siguiente:

1. El Hub detecta la conexión de un nuevo puerto serial haciendo uso de las API's provistas por el sistema operativo.
2. El Hub define si esta nueva conexión corresponde a un Station o no a fin de ignorar o no la misma.
3. El Hub le solicita al Station que le provea su id.
4. El Station lee de su memoria no volátil (EEPROM) el id que tiene asignado y se lo envía al Hub.
5. El Hub al recibir el id valida el mismo. Si el id es 0 (cero), significa que el Station nunca ha sido conectado y, por lo tanto, se le debe asignar uno.
  - 5.1. El Hub le solicita al Server un id.
  - 5.2. El Server registra mediante la base de datos un nuevo id y se lo retorna al Hub.
  - 5.3. El Hub le informará al Station su id utilizando el comando apropiado.
  - 5.4. El Station almacena en la EEPROM el id recibido y envía al Hub el resultado de la operación.
  - 5.5. El Hub en caso de recibir una respuesta que indique que la operación fue exitosa procede a crear la representación interna del Station.

6. El Hub informa al Server sobre la nueva conexión.

#### Actualización del estado de un Station

Para identificar el estado de un Station al igual que para la detección de un nuevo panel que se conectó, se utilizó un cron. El mismo realiza de forma periódica el envío de un ping a cada Station el cual debe responder para que el estado del mismo siga online. En caso de que el Station no responda, se procederá a colocar el mismo como desconectado y si pasado un periodo de tiempo T (configurable al compilar el programa) el mismo sigue sin responder, se procederá a comunicar al servidor esta actualización de estado.

#### Recopilación de datos censados

Como la comunicación entre el Hub y los Stations se realiza mediante el puerto serial, existe la posibilidad de que un Station emita un mensaje y simultáneamente el Hub emita un mensaje al mismo Station causando una colisión y la corrupción de los datos enviados en ambos extremos. Debido a esto y para simplificar el protocolo, se decidió que los Stations no pueden emitir los datos censados, si no que, los mismos son pedidos mediante instrucciones enviadas por el Hub. Estas instrucciones son emitidas periódicamente y con el propósito de lograr una mayor granularidad, existen diferentes grupos de sensores según las necesidades respecto al intervalo de tiempo entre una instrucción y la siguiente, permitiendo no sobrecargar los Stations, mientras se obtienen datos precisos y de forma relevante.

Cabe destacar que todos los datos obtenidos son almacenados para que el Server pueda acceder a los mismos cuando sea necesario y en el caso particular del RFID, adicionalmente se procede a informarle al servidor sobre el código obtenido (ya que el servidor central lo utiliza para cerrar los trabajos abiertos de ese usuario).

## Station

El Station está conectado a través del puerto serial que el Arduino posee y mediante el mismo el Hub le hará los distintos pedidos. Estos pedidos incluyen los siguientes comandos:

- RFID
- Get de las posiciones de los servo
- Set de las posición de los servo
- Heartbeat
- Voltímetro
- Tracker
- Temperatura
- Humedad
- Posición bandera
- Get del id temporal
- Get del id provisto por el Server
- Set del id provisto por el Server

En caso de enviar un comando que no se encuentre registrado, el protocolo descartará lo pedido y escuchará nuevamente la solicitud del Hub.

A su vez, el Station estará escuchando permanentemente a través del sensor correspondiente al RFID a los identificadores del usuario. El mismo será guardado en memoria para que cuando el Hub consulte si hay una nueva lectura, el Station pueda devolver el que en su momento leyó.

## Consideraciones

- El comportamiento de rotación automática por vientos fuertes queda anulado en caso que la Station se encuentre en modo de rotación manual.
- La unidad métrica es la que se tomó a la hora de guardar los datos y en caso que el usuario desee otra esto se realiza on the fly por el front end, exceptuando los datos obtenidos por la implementación con el servicio meteorológico que no son almacenados (estos son obtenidos en la unidad que el usuario desea).
- Las fechas son guardadas en formato UTC.
- Si no se tuvieran mediciones que abarcaran un año entero para el cálculo de la producción histórica, se utilizarán todos los datos disponibles.

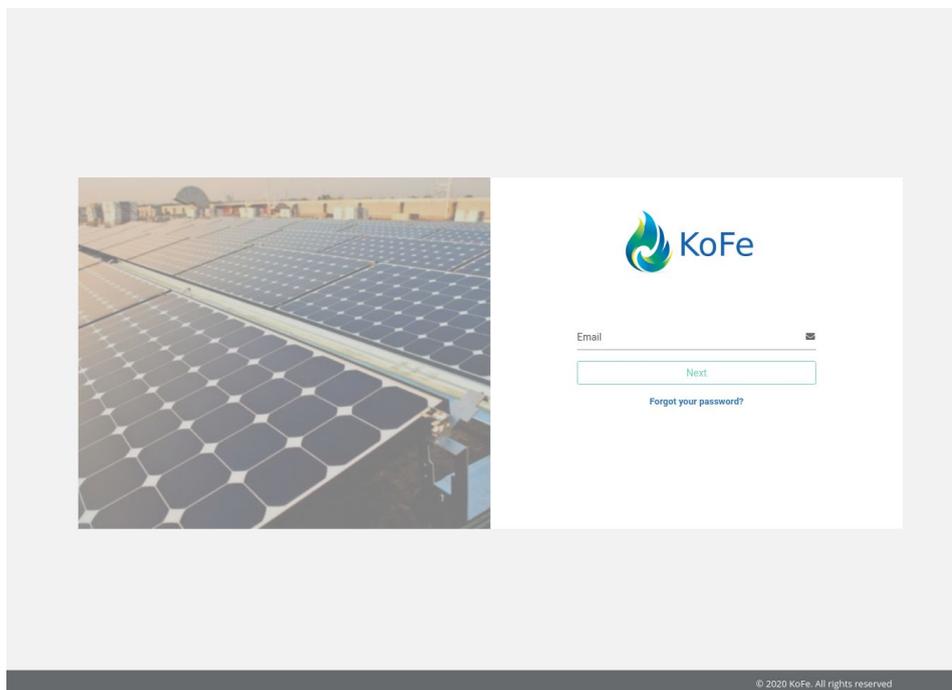
- La plataforma solo admite un trabajo por categoría abierto a la vez, esto se debe a que si se tuviera más de un trabajo abierto para una categoría y un operario marcara su RFID, el sistema no sabría cual cerrar.

## Front End

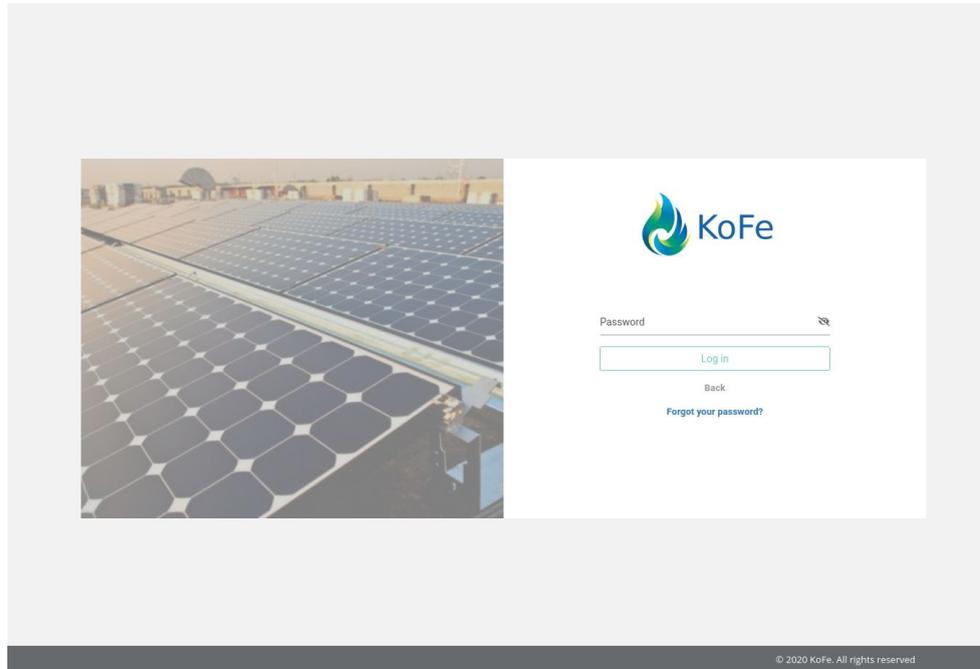
En el presente apartado se mostrarán las diferentes vistas finales desarrolladas de la plataforma web. Se utilizó AngularJS para el desarrollo del Front End.

### Login

Un usuario podrá autenticarse (ver *Imagen 1*) en la plataforma únicamente si su email pertenece a la base de usuarios. Se realiza un primer filtrado sobre los que ingresen un email que no haga referencia a un usuario registrado. En el caso que ingrese un email inválido se le mostrará un mensaje informando que no pertenece a un usuario registrado. Caso contrario podrá ingresar su contraseña (ver *Imagen 2*). A través del login, el usuario que no recuerde su contraseña podrá hacer uso de la funcionalidad de recupero de contraseña (ver *Imagen 3*).



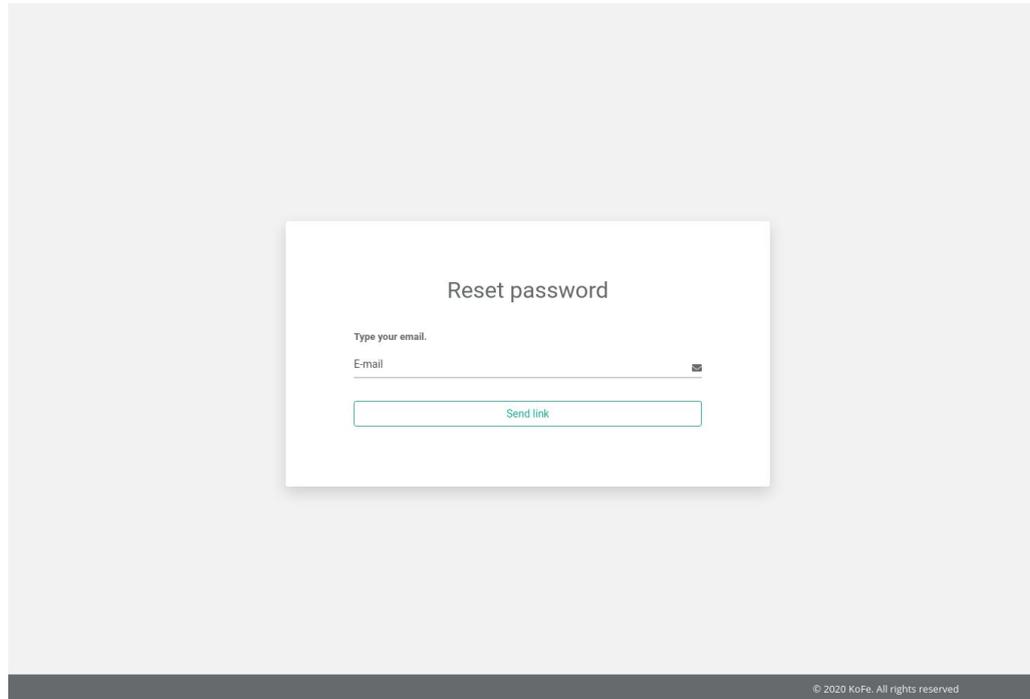
*Imagen 1: Login.*



*Imagen 2: Al ingresar un email válido, el usuario pondrá su contraseña. Caso que no sea exitoso el mismo se le notificará al usuario. Si la autenticación es exitosa se redirige al usuario al dashboard.*

### Olvidó su contraseña

En caso que el usuario haya olvidado su contraseña (ver *Imagen 3*), podrá ingresar a la presente pantalla y enviar a su email un link para poder restablecer la misma. Este link generado tiene un tiempo de caducidad de 30 minutos.



*Imagen 3: Solicitud de reseteo de contraseña.*

### Resetear contraseña

Un usuario ingresará a esta pantalla con un token. Este token es aquel que le permite resetear la contraseña y que fue enviado mediante el mail de pedido de reseteo de contraseña. En caso que se ingrese un token inválido, sea que no exista o haya caducado, se le notificará al usuario que no puede cambiar la contraseña y que solicite un nuevo reseteo de contraseña.

La contraseña a ingresar debe cumplir con ciertas restricciones (ver *Imagen 4*):

1. Cantidad mínima de caracteres
2. Debe contener mayúsculas y minúsculas y al menos un número

En caso que no cumpla con las mismas no podrá modificar la contraseña.

Change password

Type your new password

New password

Confirm new password

- ✘ A lowercase letter
- ✘ A capital letter
- ✘ A number
- ✘ Minimum 8 characters

Send

© 2020 KoFe. All rights reserved

*Imagen 4: Resetear contraseña.*

## Dashboard

A lo diagramado originalmente en el prototipo, se incorporó en la pantalla el pronóstico del tiempo de la ubicación actual de la granja. En este se podrá visualizar para el día de la fecha una mayor precisión, informando el pronóstico cada 3 horas, mientras que para los próximos 5 días se muestra un pronóstico general del día (ver *Imagen 5*).

Los usuarios pueden exportar la cantidad de paneles conectados por estado a un Excel tal cual se muestra en la tabla de la pantalla presionando el botón Export.

El gráfico de producción recibirá una entrada nueva luego de que pasen los segundos que se hayan configurado para actualizar los datos de voltaje en el módulo de panel de control.

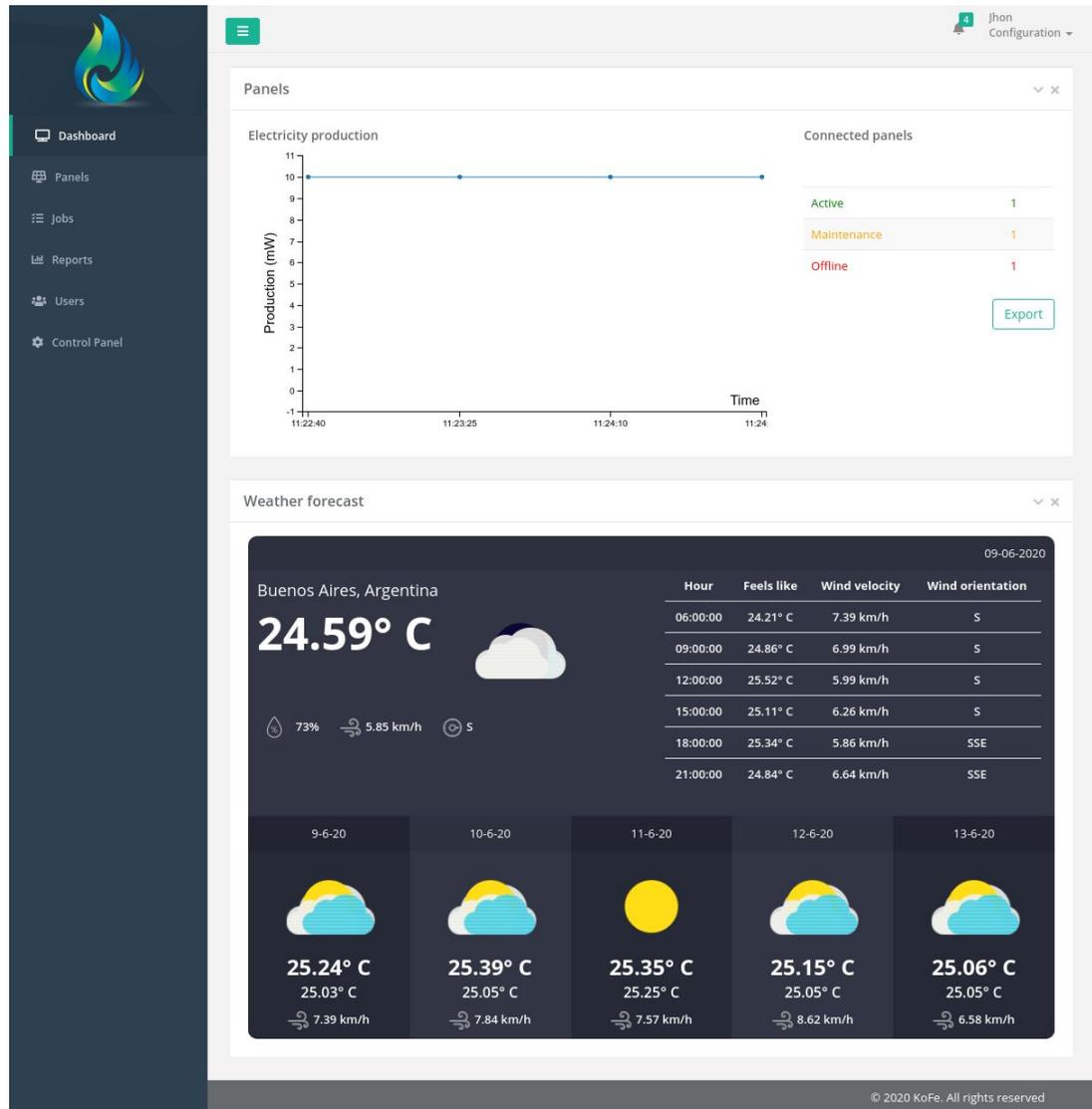


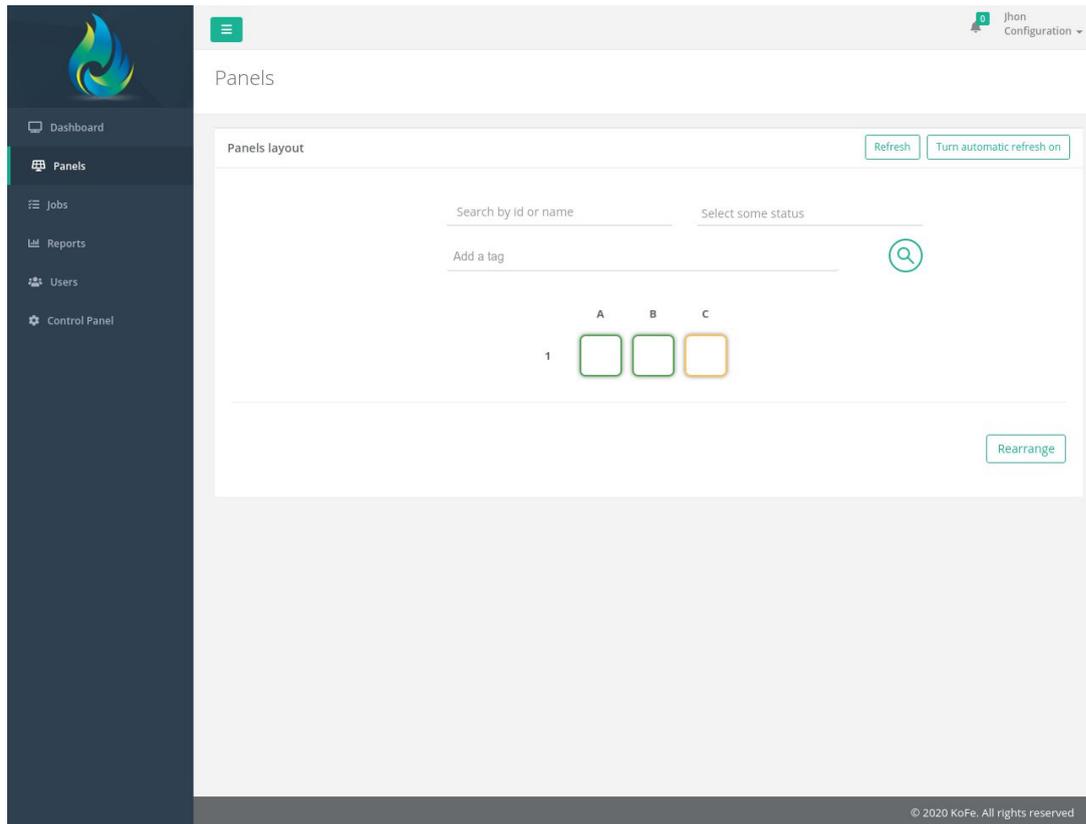
Imagen 5: Dashboard.

### Distribución de paneles

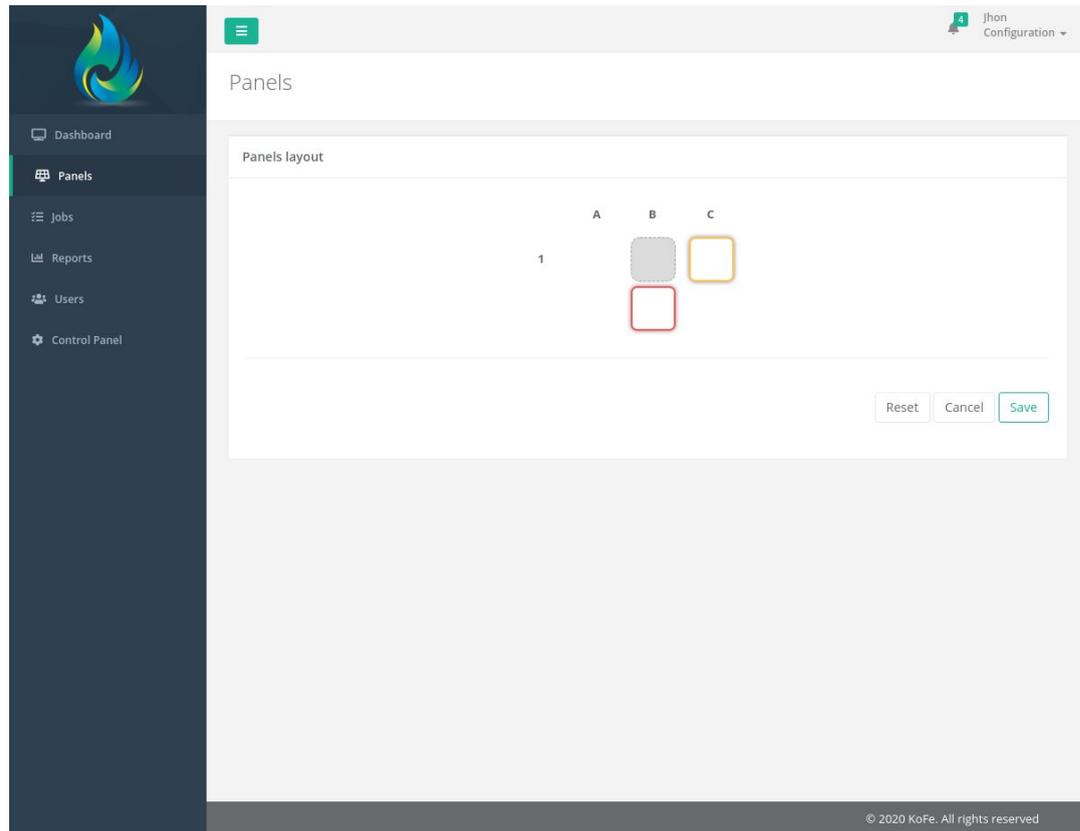
En esta pantalla se visualizan los paneles en la distribución elegida (ver *Imagen 6*) y, a su vez, podrán ser filtrados de acuerdo a su nombre o id, el estado y los tags incluidos en los paneles (ver *Imagen 8*).

Los paneles se muestran con el borde del color correspondiente al estado de los mismos. Al hacer un mouseover por ellos se ve una tarjeta que contiene la capacidad actual de ese Station, los trabajos que se encuentran en curso, el nombre y su estado.

Al apretar el botón de "Rearrange" (ver *Imagen 7*) el usuario administrador podrá modificar la posición de la totalidad de los paneles.



*Imagen 6: Distribución de paneles con el modo de edición apagado.*



*Imagen 7: Distribución de paneles con el modo de edición encendido. El formulario de la búsqueda de paneles se oculta, permitiendo ubicar cada uno de ellos en la posición deseada mediante drag and drop. En caso de apretar el botón de “Reset” se le mostrará un pop up al usuario preguntándole si está seguro que quiere deshacer el trabajo realizado y ubicar los paneles en la posición que se encontraban previamente al ser modificados.*

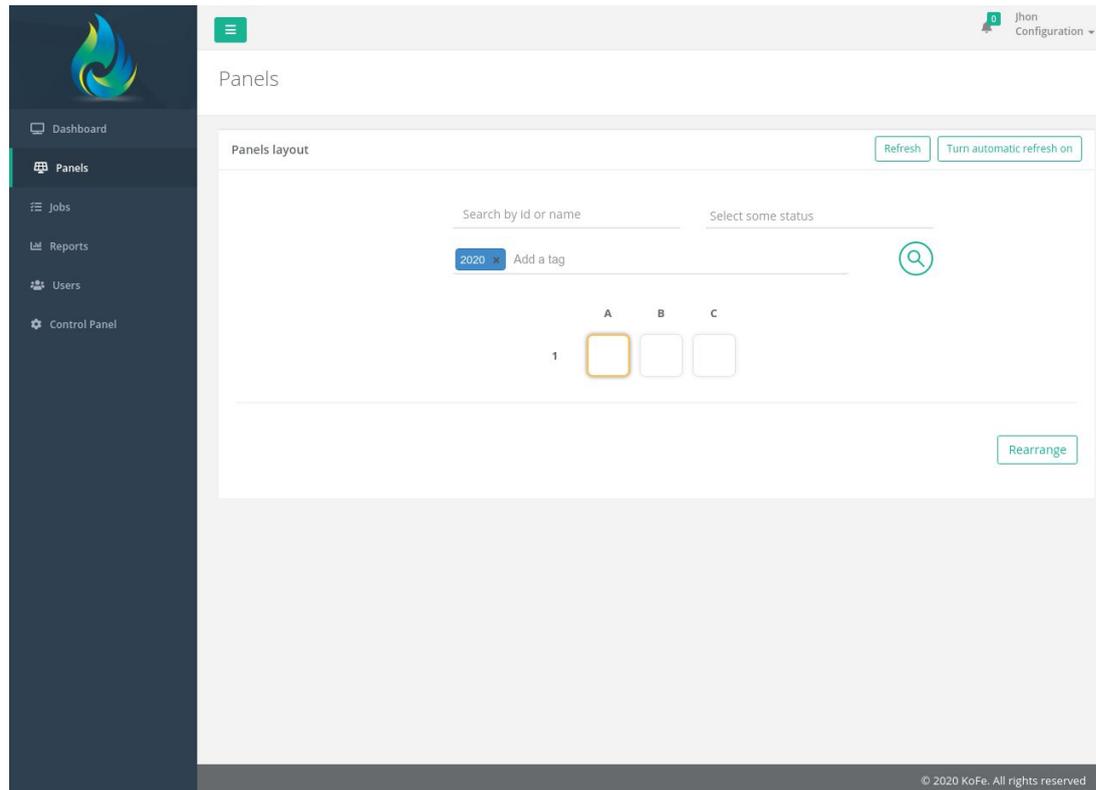


Imagen 8: Al hacer uso del buscador de paneles, quedarán iluminados en el color de su estado, aquellos paneles que cumplan con lo filtrado. El resto de los paneles quedarán en su ubicación pero sin poder ser seleccionados.

## Panel

Al hacer click en un panel de la matriz se ingresa al mismo (ver *Imagen 9*), mostrando toda su información.

En esta pantalla el usuario podrá agregar los tags sobre el Station con los que se quiera identificar. También podrá visualizar y editar el nombre del mismo, ver la fecha de la última vez que se realizó un mantenimiento o limpieza.

La vista actual presenta distintas pestañas. La primera, corresponde a su funcionamiento donde se encuentra el estado, la temperatura y la humedad actual que registra el panel, la capacidad actual con la que se está trabajando, las comparaciones con lo producido el día anterior y la semana anterior, y el gráfico de producción. En el caso que el Station no se encuentre activo esta información no es mostrada ya que no se pueden recuperar los datos debido a su desconexión.

En la pestaña de configuración del panel (ver *Imagen 10*) se dispone del modo de trackeo y cual es la máxima capacidad teórica del mismo. La máxima capacidad por defecto

viene en cero y el usuario deberá registrarla de acuerdo a las especificaciones del panel; resulta importante agregar la misma para sacar las métricas mostradas en la pestaña de funcionamiento.

En tercer lugar está la pestaña de rotación manual del panel. El usuario administrador tendrá los controles de la rotación manual en el caso que el panel se encuentre en el estado activo y además tenga el modo de trackeo en manual. El usuario podrá modificar la posición del eje x e y del panel a través de la manipulación de los componentes (ver *Imagen 11*). A su vez, se podrá activar o desactivar el panel en posición bandera haciendo click sobre el componente correspondiente siempre y cuando se cumplan las condiciones mencionadas anteriormente. En caso de que la posición bandera se encuentre activada, no se podrá rotar el panel.

Por último, se encuentra la pestaña de trabajos (ver *Imagen 12*). En esta pestaña los usuarios podrán visualizar y filtrar en caso que deseen todos los trabajos relacionados al Station en cuestión. Además, el usuario administrador puede crear los trabajos deseados. En el caso que todos los tipos de trabajo (mantenimiento y limpieza) se encuentren en progreso, el botón de crear trabajo se mostrará deshabilitado.

De la misma manera, el administrador podrá reasignar un trabajo a otro usuario o comentar el mismo. Más aún, el usuario asignado a un trabajo podrá también agregar un comentario. Una vez que el trabajo se encuentre finalizado el botón de reasignar no se visualiza.

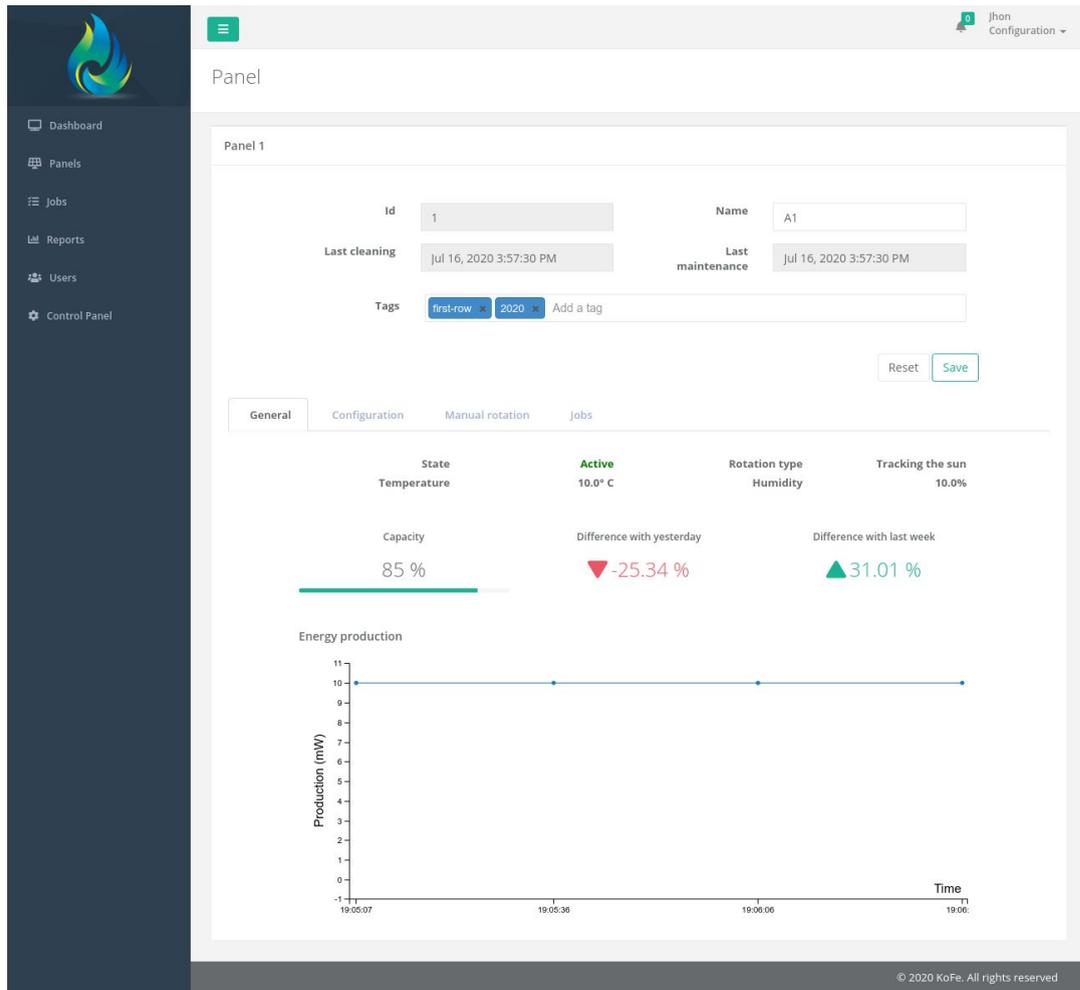


Imagen 9: Station con la pestaña de funcionamiento seleccionada.

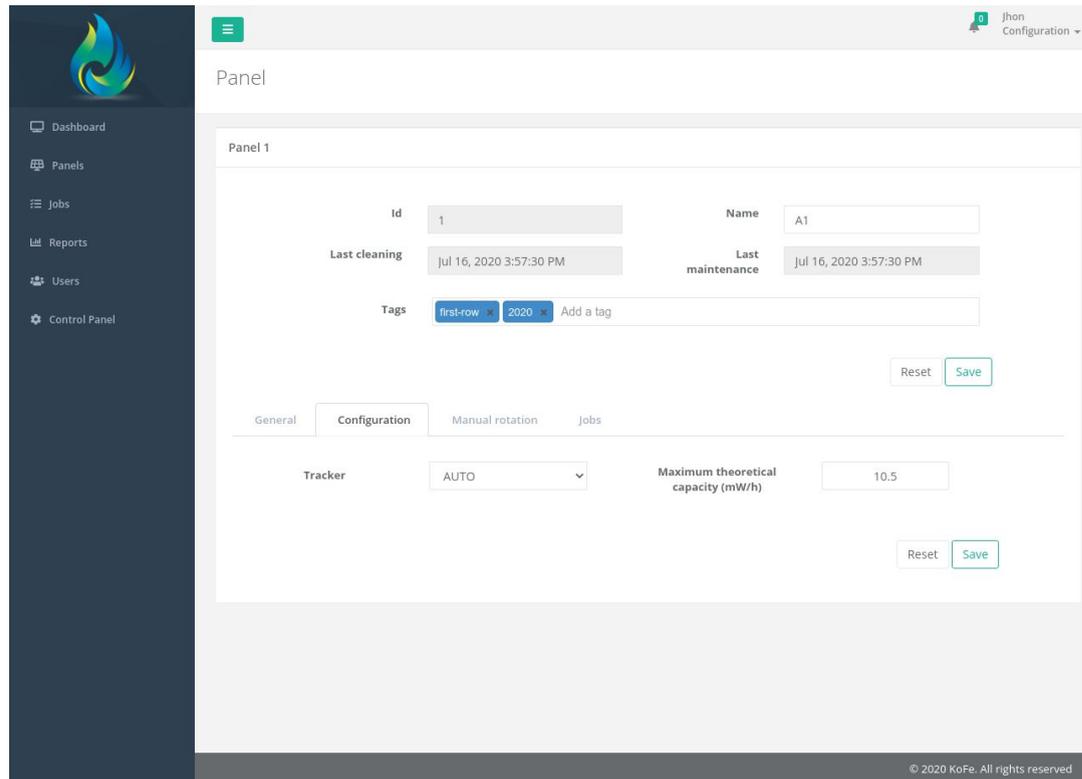


Imagen 10: Station con la pestaña de configuración seleccionada.

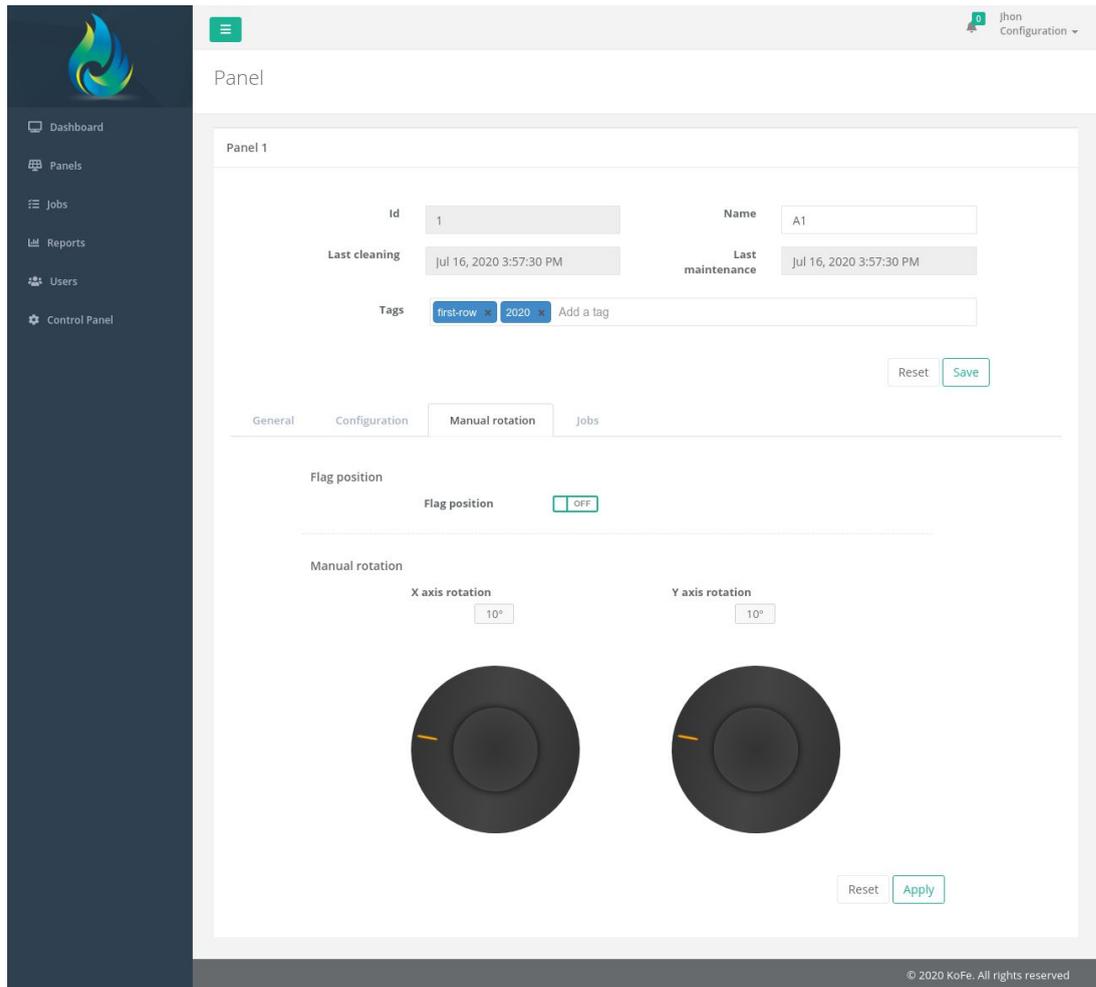


Imagen 11: Station con la pestaña de rotación manual seleccionada.

The screenshot displays the 'Jobs' tab within the 'Panel 1' configuration page. The interface includes a sidebar with navigation options: Dashboard, Panels, Jobs, Reports, Users, and Control Panel. The main content area shows the 'Jobs' tab selected, with a 'Create job' button in the top right. Below this, there is a search bar for jobs by username or email, with a date range of 16/07/2020 - 16/07/2020. A table lists the jobs with columns for User, Type, Status, Created, and Comment. The table contains two entries: one for 'Cargos Gonzalez (Carlos)' with 'Maintenance' type and 'In progress' status, and another for 'Jack Reacher (Jack)' with 'Cleaning' type and 'In progress' status. Each entry has 'Add comment' and 'Reassign' buttons. At the bottom right, there are pagination controls: First, Previous, 1, Next, Last. The footer indicates '© 2020 KoFe. All rights reserved'.

*Imagen 12: Station con la pestaña de rotación manual seleccionada.*

## Trabajos

En el módulo de trabajos, se visualiza el listado completo de trabajos los cuales pueden ser filtrados por el usuario asignado, id de Station, tipo y estado del trabajo y fecha de creación (ver *Imagen 13*). En el caso que un usuario administrador acceda a esta vista, podrá visualizar de forma conjunta todos los trabajos de todos los paneles de cualquier usuario. Podrá reasignar los trabajos en el caso que sea posible (ver *Imagen 14*), o agregar un comentario (ver *Imagen 15*).

Cuando un usuario no administrador acceda a esta pantalla, sólo podrá visualizar los trabajos que él mismo tiene relacionados.

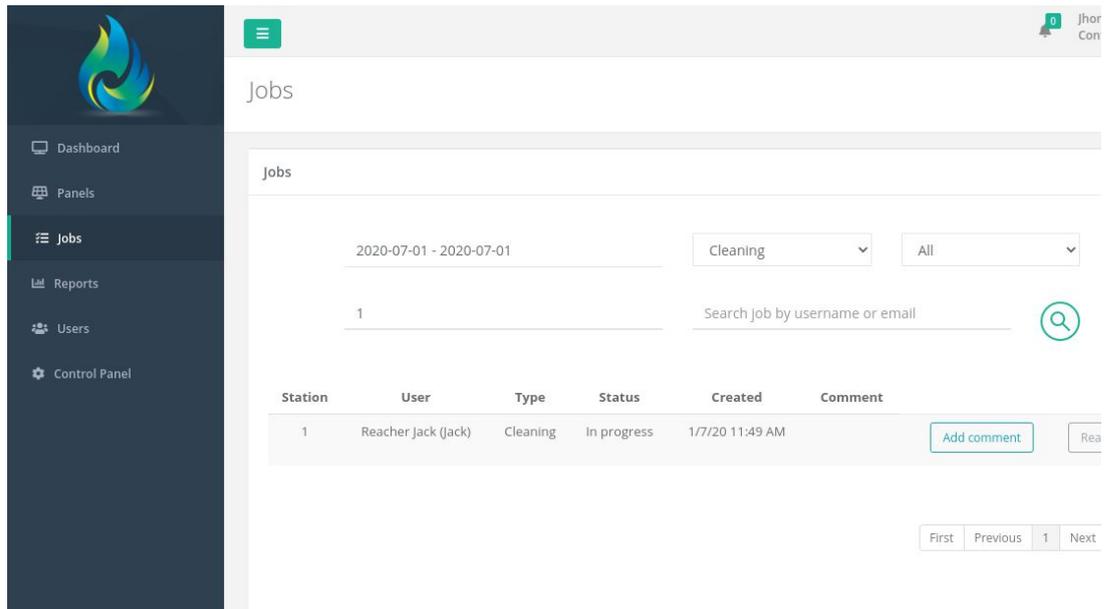


Imagen 13: Lista de trabajos filtrando por número de Station.

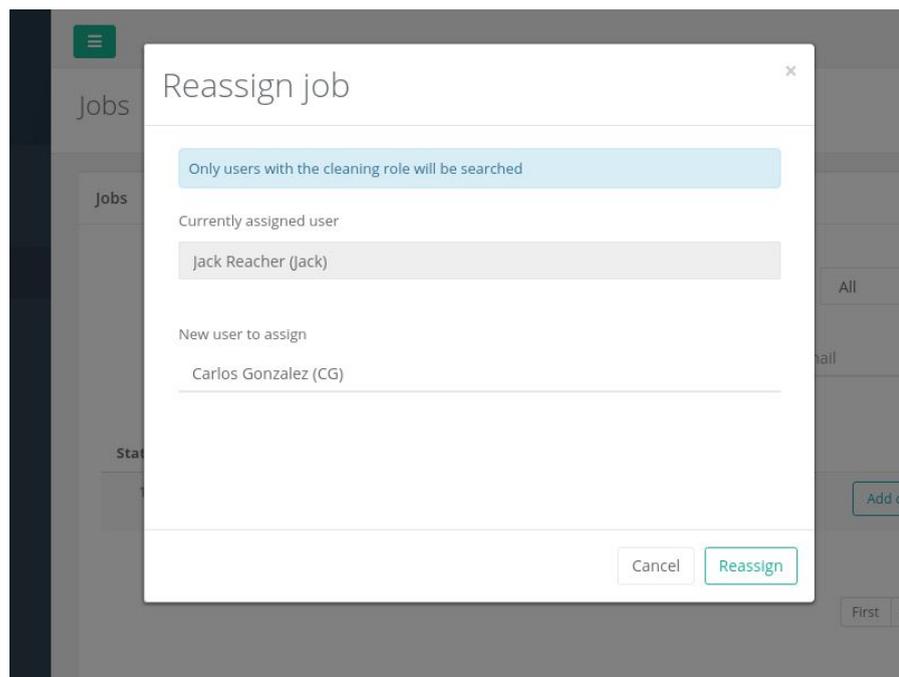
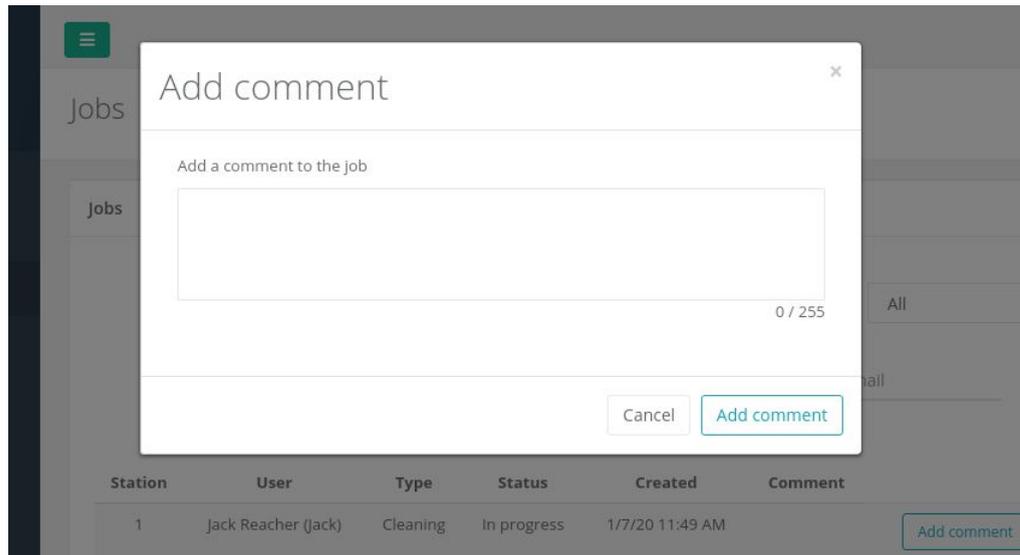


Imagen 14: En el caso de re asignar un trabajo, se utiliza un buscador de usuarios para seleccionar el nuevo encargado de llevar a cabo dicha tarea que posea el rol correspondiente a ese tipo de trabajo.



*Imagen 15: En caso de seleccionar agregar o editar un comentario sobre un trabajo, se le permitirá al usuario escribir un texto de 255 caracteres indicando lo que crea relevante.*

## Reportes

En esta pantalla los usuarios podrán descargar los distintos tipos de reporte brindados. Se podrán buscar por fecha de creación por tipo de reporte y por periodicidad de los mismos (ver *Imagen 16*).

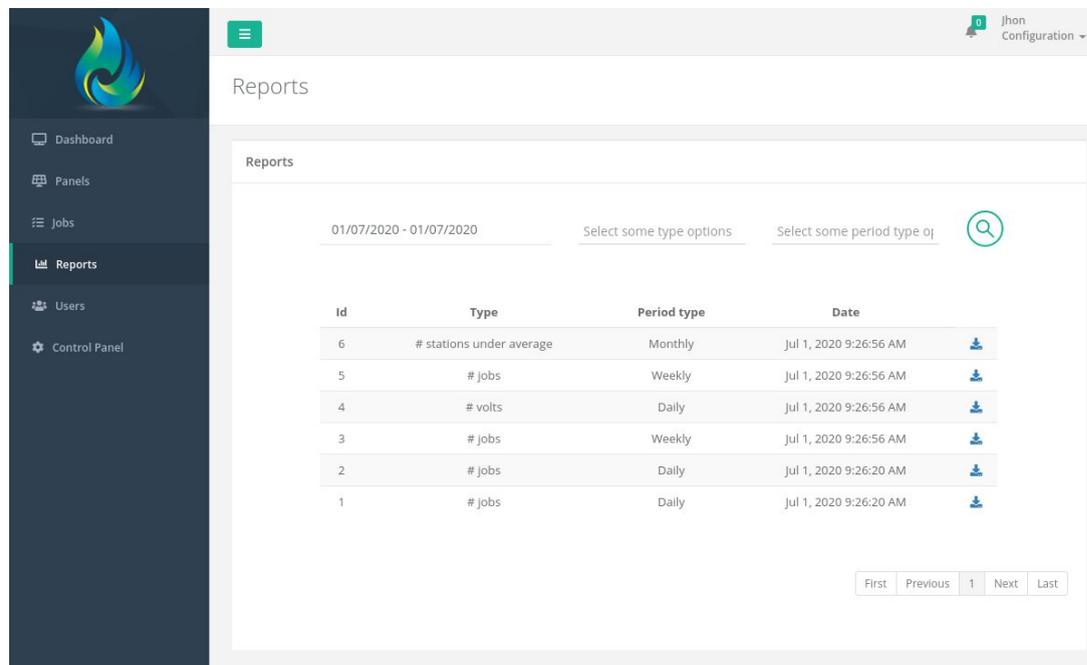


Imagen 16: Listado de reportes.

## Usuarios

Esta funcionalidad está habilitada únicamente para los usuarios con rol de administrador (ver *Imagen 17*). En esta pantalla podrá generar nuevos usuarios, eliminar los que ya existen (ver *Imagen 20*), teniendo de esta manera el control completo de quienes están autorizados para acceder a la plataforma. Dentro del listado, se puede filtrar por nombre o email y por rol.

Al seleccionar el nombre de un usuario se lo redirige a la pantalla donde tendrá mayor información del seleccionado.

Al generar un nuevo usuario, se debe ingresar el identificador de un usuario, el cual está compuesto por 3 campos (nombre, apellido y nombre a mostrar en la plataforma), la dirección de email, el rol y por último el token del RFID (ver *Imagen 18*). Este token será utilizado para poder distinguir las tareas que realice este usuario en los Stations. Cabe destacar que la combinación de los tres campos relacionados con el nombre del usuario, no puede repetirse en otro usuario. Esta identificación única también sucede con la casilla de email y el código RFID. En caso que alguna de las tres condiciones no sea cumplida se le informa debidamente al usuario.

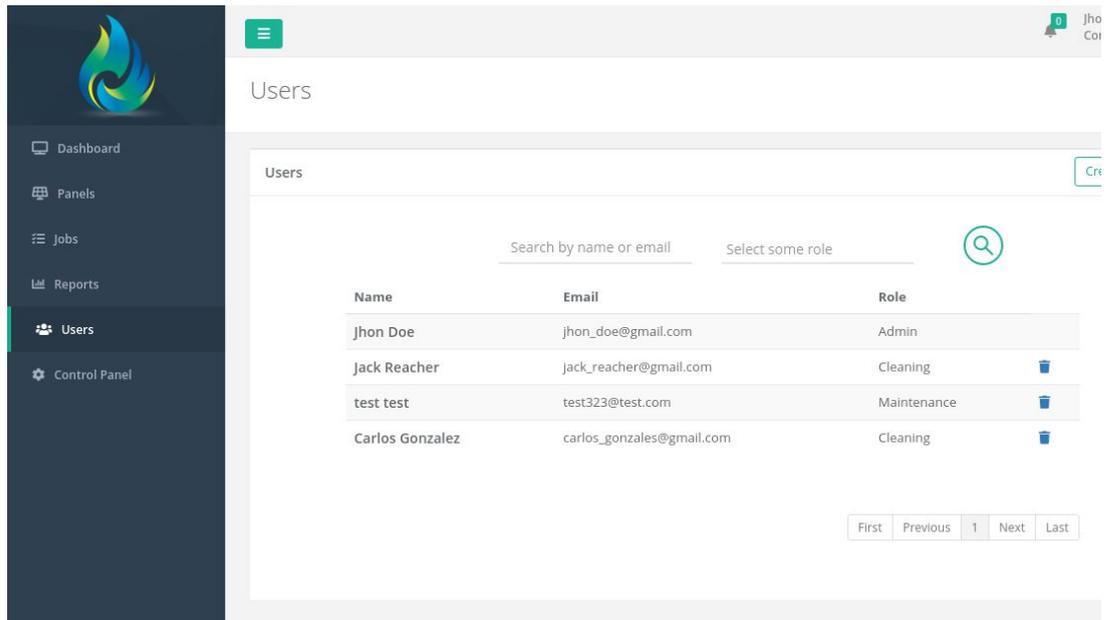


Imagen 17: Listado de usuarios.

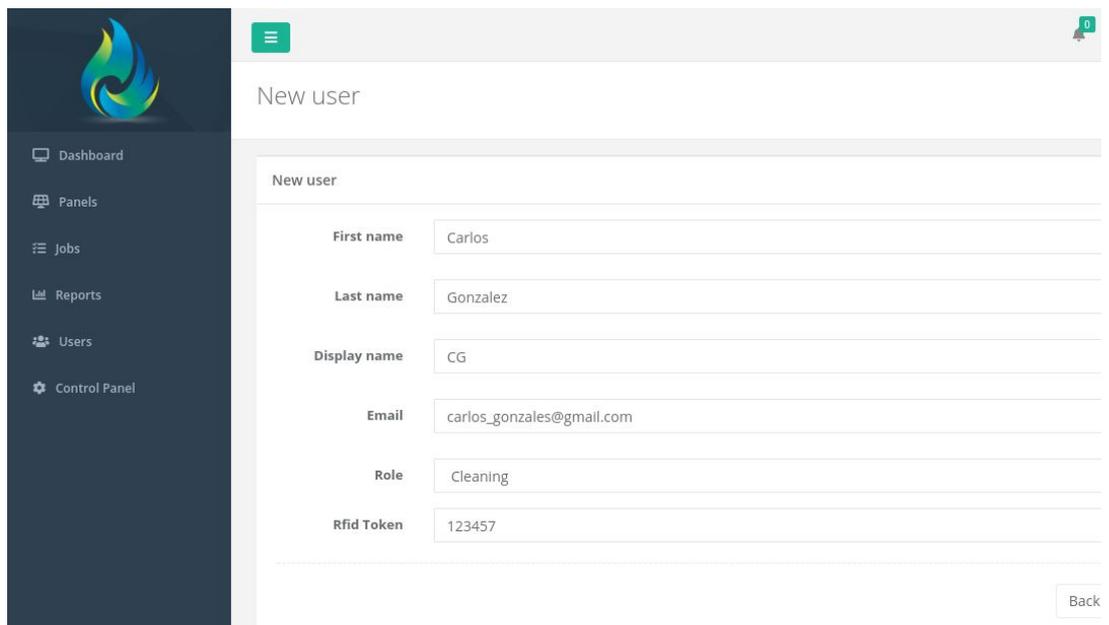
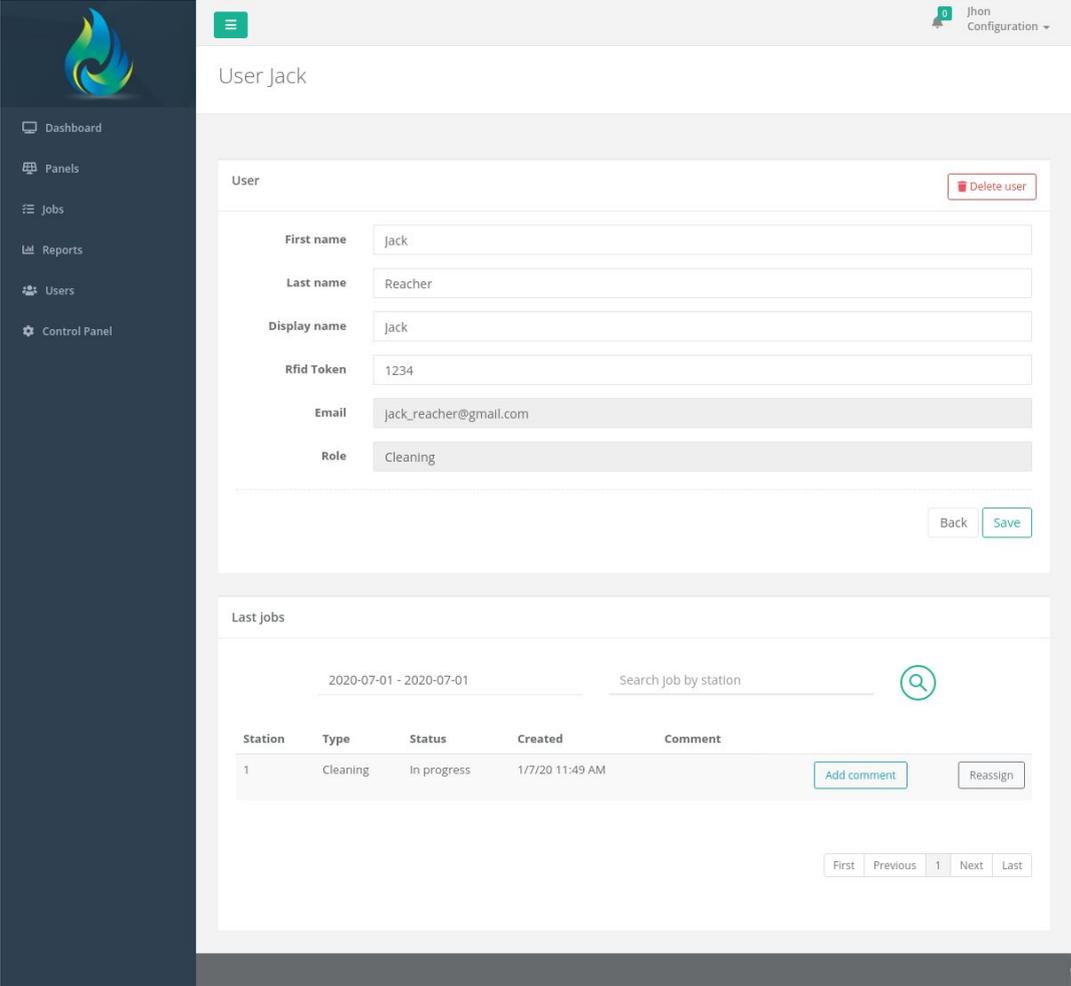


Imagen 18: Creación de un nuevo usuario.

## Usuario

Al igual que en el listado de usuarios, esta pantalla es para usuarios administradores (ver *Imagen 19*). En esta sección, el administrador podrá modificar el nombre del usuario o el token del RFID por extravío o cambio de tarjeta por ejemplo. A su vez, podrá eliminar el usuario que está visualizando (ver *Imagen 20*). En esta pantalla se visualizarán los trabajos que tiene asignado el usuario, permitiéndole al administrador agregar un comentario o reasignar el mismo de igual manera que el módulo de trabajos y la pestaña de panel relacionada a estos.



The screenshot shows a web application interface for user management. The top right corner displays the user 'Jhon Configuration'. The main heading is 'User Jack'. Below this, there is a 'User' section with a 'Delete user' button. The user details are as follows:

First name	Jack
Last name	Reacher
Display name	Jack
Rfid Token	1234
Email	jack_reacher@gmail.com
Role	Cleaning

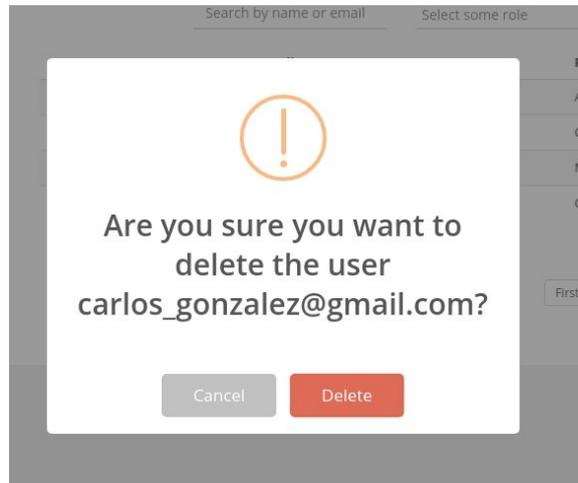
Buttons for 'Back' and 'Save' are located at the bottom right of the user details form.

Below the user details is the 'Last Jobs' section, which includes a date range filter (2020-07-01 - 2020-07-01) and a search box for jobs by station. A table lists the jobs:

Station	Type	Status	Created	Comment
1	Cleaning	In progress	1/7/20 11:49 AM	

Buttons for 'Add comment' and 'Reassign' are located to the right of the job entry. At the bottom right, there are pagination controls: 'First', 'Previous', '1', 'Next', 'Last'.

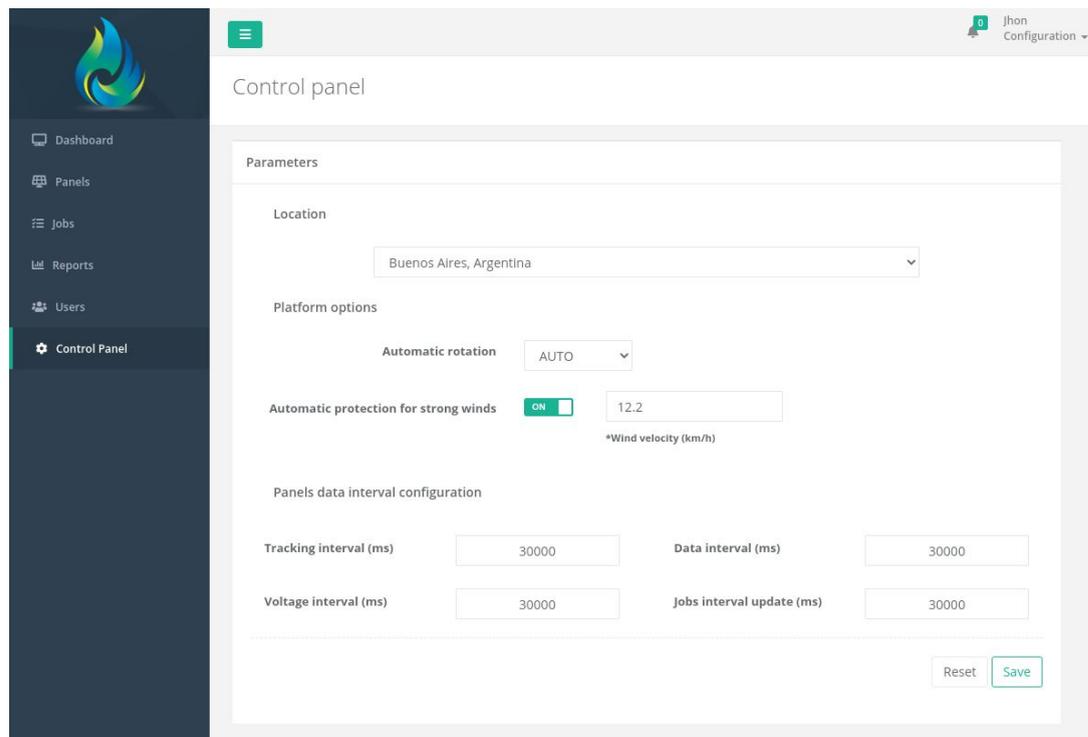
*Imagen 19: Información detallada de un usuario.*



*Imagen 20: Alerta al usuario administrador, solicitando la confirmación para realizar la acción.*

### Panel de control

En el panel de control (ver *Imagen 21*), cuyo acceso se encuentra restringido únicamente al usuario administrador, se podrá modificar la ubicación de la granja solar (tomada para mostrar y evaluar el clima), disponer del modo de trackeo del sol en todos los paneles, activar o desactivar la protección por vientos fuertes (en caso que esté prendida esta opción, el usuario podrá ingresar la velocidad del viento a partir del cual se hará uso de esta funcionalidad; caso contrario este campo estará deshabilitado), y, por último podrá ingresar los diferentes intervalos de tiempo que influenciarán sobre la obtención de la información de los Stations.



*Imagen 21: Panel de control.*

## Notificaciones

Los usuarios que se encuentren navegando la plataforma, serán notificados mediante un toast cuando tenga una nueva notificación, sin necesidad de que se encuentre en la pantalla de visualización de todas las notificaciones (ver *Imagen 22*).

A su vez, al hacer click en la campana que se encuentra en la navegación superior, el usuario podrá visualizar las últimas cinco notificaciones que tiene sin leer, pudiendo marcar como leídas las mismas (ver *Imagen 23*). De la misma manera, podrá dirigirse a la pantalla donde se visualizan todas las notificaciones que tiene, tanto las que ya están leídas, cómo las que no.

En la última pantalla mencionada, el usuario contará con todas las notificaciones que tiene, pudiendo marcar cada una de ellas o todas al mismo tiempo como leídas o no leídas (ver *Imagen 24*).

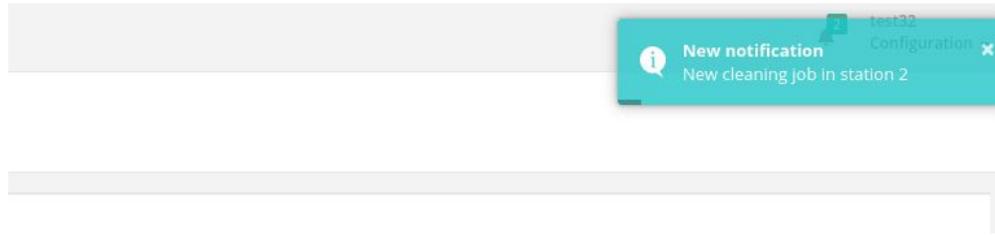


Imagen 22: Toast de nueva notificación.

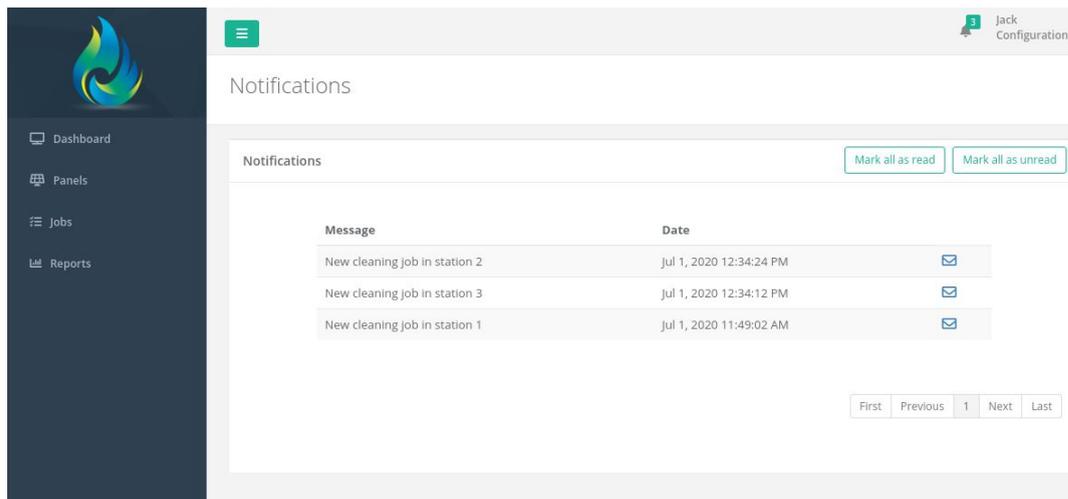


Imagen 24: Lista de notificaciones.

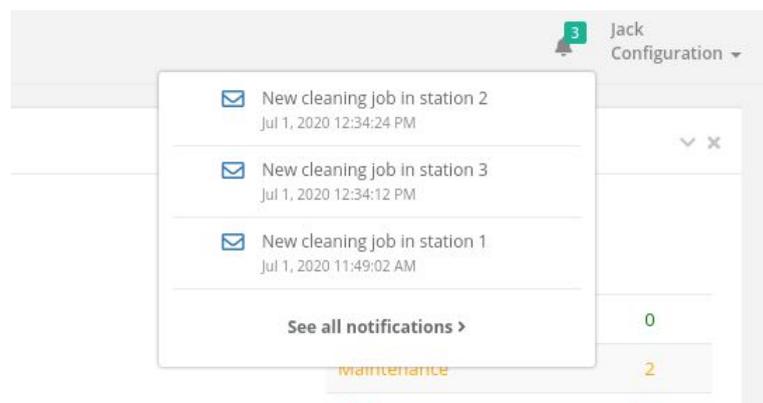
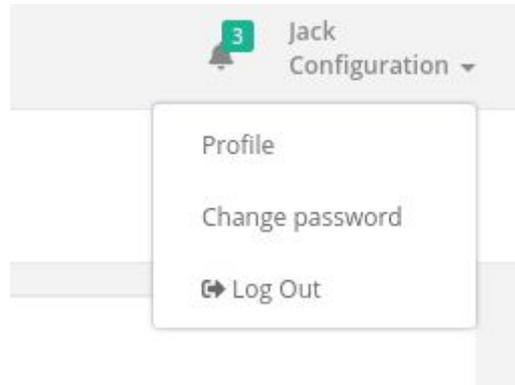


Imagen 23: Top 5 notificaciones sin leer.

## Configuración del usuario

Al hacer click sobre “Configuración”, se despliega el menú (ver *Imagen 25*). Los usuarios podrán ingresar a su perfil, cambiar su contraseña o desloguearse de la plataforma.



*Imagen 25: Menú de configuración del usuario.*

## Perfil

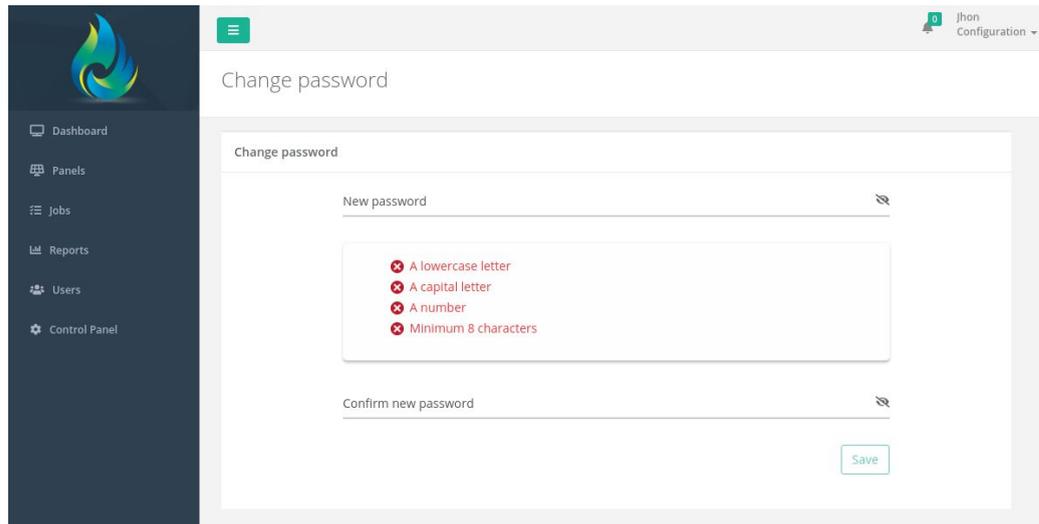
En la pantalla de perfil, el usuario podrá modificar su nombre, cambiar sus unidades de medición teniendo como opción el sistema métrico o el imperial, apagar o encender las notificaciones por email, o cambiar el idioma de navegación en la plataforma (ver *Imagen 26*).

The image shows a web interface for user profile management. On the left is a dark sidebar with navigation links: Dashboard, Panels, Jobs, Reports, Users, and Control Panel. The main content area is titled 'User profile' and contains a 'Parameters' section. Under 'User', there are three input fields: 'Name' with 'Jhon', 'Last name' with 'Doe', and 'Display name' with 'Jhon'. Below this is the 'Units' section with a dropdown menu set to 'Metric'. The 'Notifications' section has a toggle for 'Email alert notifications' which is currently 'ON'. The 'Language' section has a dropdown menu set to 'English'. At the bottom right of the form are 'Reset' and 'Save' buttons. The top right corner shows the user 'Jhon' and a 'Configuration' dropdown. The footer contains the copyright notice '© 2020 KoFe. All rights reserved'.

*Imagen 26: Perfil del usuario.*

### Cambio de contraseña

Los usuarios podrán modificar su contraseña en esta pantalla (ver *Imagen 27*) siguiendo las condiciones mínimas de seguridad establecidas y mencionadas en el apartado de reseteo de contraseña. Las mismas se irán validando a medida que escriba la contraseña.



*Imagen 27: Cambio de contraseña.*

### Colapsar menú izquierdo

En caso que un usuario quiera tener más espacio de pantalla, podrá hacer click sobre el ícono de hamburguesa para poder colapsar la navegación izquierda de la pantalla (ver *Imagen 28*). En dispositivos de resoluciones menores a los de una computadora normal, el menú de navegación es este, brindándole al usuario una mejor experiencia.

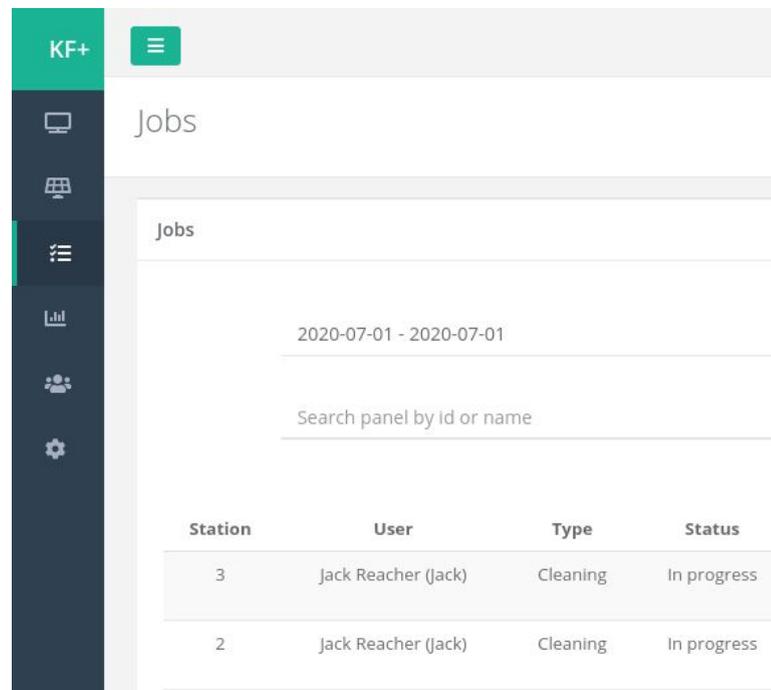


Imagen 28: Menú de navegación izquierdo colapsado.

## Protocolo de comunicación

### Introducción

Debido a que el sistema debe garantizar la ejecución de comandos, que la información obtenida sea precisa, que se decidió utilizar puerto serial (se podría utilizar radiofrecuencias pero resulta poco práctico y costoso mantener una señal estable a lo largo de una granja de varias decenas de kilómetros por lo que se descartó esta opción) y que no se encontró un protocolo sincrónico para este medio, se diseñó un protocolo que permitiera cumplir con los requisitos mencionados previamente.

La comunicación sincrónica demanda que ambos interlocutores (emisor y receptor) tengan conocimiento que el mensaje enviado fue recibido de forma exitosa. Para lograr esto, se implementó un ACK para notificar al emisor sobre la recepción del mensaje emitido.

Ya que en las circunstancias particulares del sistema se pueden dar comunicaciones simultáneas, se debió implementar un identificador para las mismas.

Finalmente y debido a la restricción de tamaño de Arduino (del buffer de lectura del puerto serial), el protocolo permite la comunicación de mensajes extensos dividiendo los mismos en múltiples paquetes.

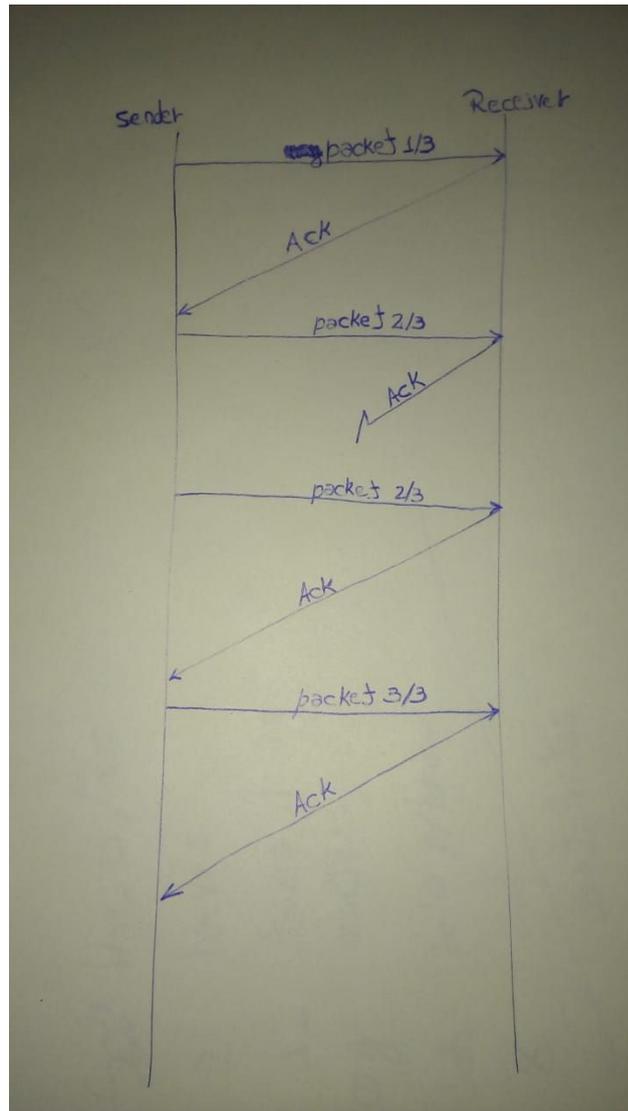


Gráfico 1: Flow del protocolo.

### Paquete

A fin de organizar la estructura de la información, los paquetes se encuentran divididos en dos partes: encabezado y contenido.

### Encabezado

Contiene la metadata del paquete, en otras palabras, información inherente al protocolo y no a los datos enviados realmente por el emisor.

El mismo cuenta con una estructura de cuatro bytes:

1. Id del paquete: este byte le permite tanto al emisor cómo al receptor identificar el paquete en cuestión, pudiendo de esta manera hacer un seguimiento del mismo. Además, a través de este id se logra identificar a qué paquete hace referencia la respuesta recibida.
2. Número de paquete: mediante el mismo se logra identificar el número de paquete en la secuencia de todos aquellos que conforman el mensaje.
3. Cantidad de paquetes: indica la cantidad total de paquetes que conforman el mensaje.
4. Largo del contenido: el último byte del encabezado es el encargado de informar la cantidad de bytes que contiene el contenido del paquete.

### Contenido

Son los bytes que componen el mensaje o una parte del mismo (en caso que ocupase más de un paquete). Ya que los mensajes enviados son comandos predefinidos se determinó que el primer byte del primer paquete sea el identificador del mismo y los bytes subsiguientes representan los parámetros.

### Arduino

Arduino almacena los bytes recibidos en un buffer, los cuales al detectarse, son consumidos llamando a una librería desarrollada (por nosotros) en C que se encarga de procesar los bytes. Esta librería realiza el parseo de los mismos para armar el paquete y luego procesarlo.

Para parsear los bytes, se utiliza una máquina de estados (ver *Esquema 1* en *Anexo*) por mensaje (no por paquete). La misma es iniciada con la lectura del primer byte y consumirá los siguientes bytes para formar el encabezado del primer paquete y luego se conformará el contenido (se requiere el encabezado para determinar la cantidad totales de bytes a consumir para lograr armarlo).

En el caso de que el encabezado indique la existencia de múltiples paquetes se procederá a repetir el proceso mencionado anteriormente hasta lograr consumir la totalidad de paquetes. Por cada uno de los paquetes recibidos, se le notificará al emisor de una

recepción exitosa enviando un ACK. Finalmente, una vez que se obtiene el mensaje completo se procederá a procesar el mismo.

En caso que alguna lectura de los bytes supere el tiempo máximo configurado, se producirá un timeout haciendo que el paquete se descarte.

Si existiesen múltiples paquetes, todos deberán contar con el mismo id y cantidad de paquetes en el encabezado. Si este no fuera el caso, el pedido será descartado. Además de la validación mencionada, se definió que los paquetes deben llegar en orden (esto se debe a que por puerto serial los paquetes no pueden llegar en desorden por lo tanto la existencia de este implica la pérdida de paquetes) por lo que, por ejemplo, si el tercer paquete llegase antes que el segundo, el mensaje será descartado.

A fin de no gastar tiempo de procesamiento innecesario, se implementaron de forma adicional las siguientes validaciones: todos los paquetes deben tener un contenido con longitud mayor a cero, cómo así también, la cantidad de paquetes debe ser al menos uno.

Debido a que los comandos son predefinidos y se identifican mediante un número (definido actualmente cómo un byte), si al leer el mismo se detecta que no existe, se descarta el mensaje.

Se definió que todos los comandos exigen una respuesta para indicar si su ejecución o no fue exitosa. En el caso de los comandos que piden mediciones sensores, esto resulta trivial ya que la respuesta contendrá el resultado de la medición realizada, y aquellos que impliquen cambios en la configuración o bien la modificación de algún estado en los componentes se retornará cero en el caso de éxito o un código correspondiente al error.

Por último, puede existir el caso en el cual el tiempo en el que se procesa el comando es mayor al tiempo de timeout del emisor, si esto ocurre, el emisor volverá a enviar el mismo mensaje produciendo que se vuelva a reproducir la misma situación (el comando no será procesado a tiempo). En esta situación, la respuesta generada será guardada por un sistema de almacenamiento (un mapa de id de paquete-respuesta) para evitar reprocesar el mensaje anterior. El tamaño del mapa es de 5 respuestas, en caso que el paquete no sea consultado luego de 5 paquetes guardados, se eliminará y se guardará uno nuevo.

La respuesta finalmente se escribirá por puerto serial, retornando a Arduino nuevamente a la espera de un nuevo input.

## Hub

Debido a la diferencia de casos de uso, la implementación del protocolo en el Hub presenta algunas diferencias respecto a la de Arduino. Entre ellas se destaca la necesidad de utilizar locks, para permitir el envío de solo un mensaje a la vez a un Station determinado. Esto se debe a que el manejo de threads podría suceder que un mensaje se envíe y mientras arduino envía la respuesta al mismo, otro thread del Hub intente enviar otro mensaje produciendo una colisión.

## Análisis de datos

Durante un lapso de 2 semanas se procedió a tomar mediciones del voltaje producido para recabar datos y utilizar los mismos para contrastar la eficiencia del sistema de rotación implementado.

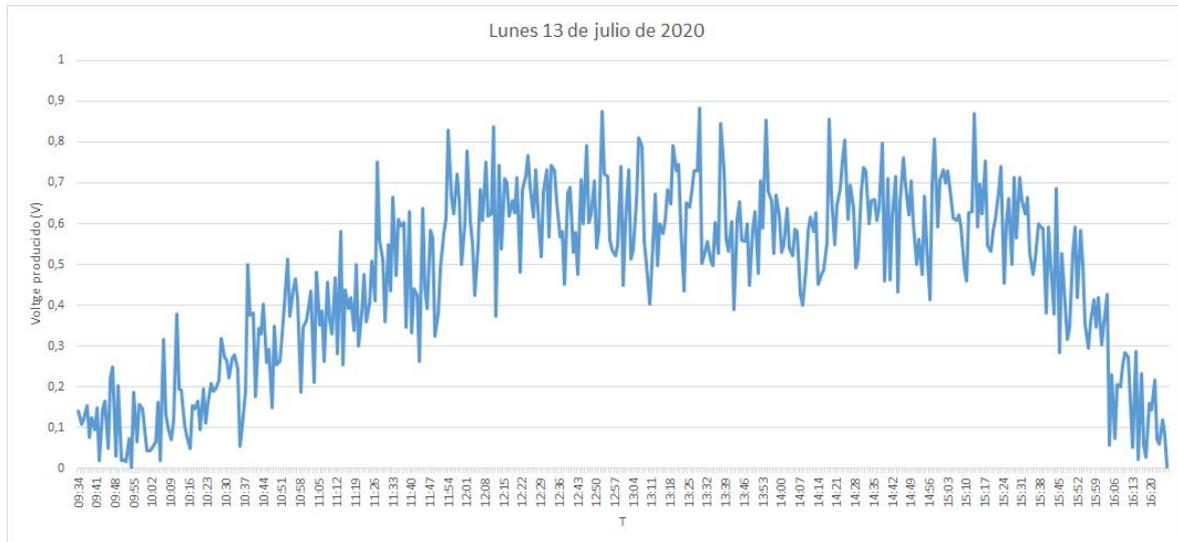
Durante la primera semana, transcurrida desde el 13/07/2020 al 19/07/2020 inclusive, se recopilaron datos del panel con el solar tracker activado permitiendo que el mismo permaneciera perpendicular al sol durante mayor tiempo.

Por otra parte, para la segunda semana, transcurrida desde el 20/07/2020 al 26/07/2020 inclusive, se configuró el Station para que permaneciera en posición bandera.

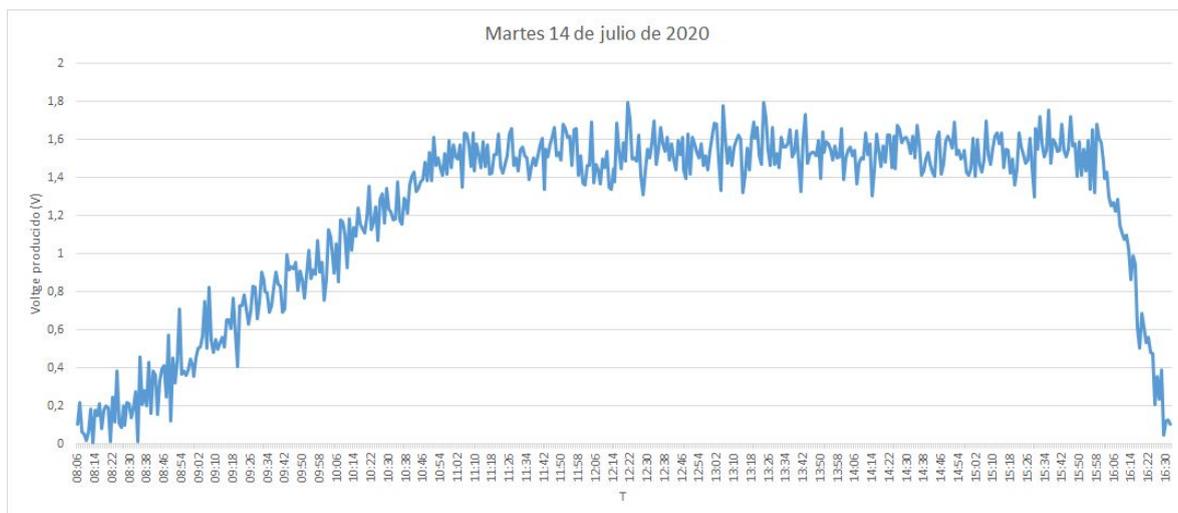
Con base en los resultados obtenidos al realizar este experimento, se puede determinar que el solar tracker efectivamente tiene un impacto positivo en la generación de energía. Esto se puede observar al comparar los gráficos de producción y las formas de sus curvas, ya que para los gráficos del Station con su posición estática se observa una pendiente más pronunciada, denotando un aumento en la producción de la energía durante la mañana hasta llegar a un pico pasado el mediodía y finalmente reduciendo la producción por la tarde. En cambio para los gráficos del Station con el tracker activado, se observa una meseta y no un pico, demostrando no solo que alcanzó su máximo nivel de producción más rápidamente, sino que el mismo se sostuvo a lo largo del tiempo por un periodo más prolongado, produciendo al final del día mayor energía.

Cabe destacar que para este experimento se utilizó un panel solar con una capacidad de producción teórica de 1W (5V y 200mA). Sin embargo como se observa en los gráficos su producción fue mucho menor, esto se debe a que las mediciones se realizaron en condiciones subóptimas ya que las semanas presentaron días nublados y la estación en el periodo actual corresponde al invierno (reduciendo de forma significativa la producción debido a la reducción la energía de los rayos solares).

Finalmente y debido a la calidad del sensor utilizado se observan saltos en las mediciones los cuales difieren con los datos reales, por lo que, a fin de reducir los mismos se decidió realizar 10 mediciones por vez y tomar en cada minuto el promedio de las mismas. Sin embargo, como se puede observar a lo largo de todos los gráficos, esta medida no fue suficiente, por lo que no se recomienda el uso de estas mediciones a fin de determinar la producción total en cada caso.



**Gráfico 1:** Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 13/07/2020 (parcialmente nublado).



**Gráfico 2:** Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 14/07/2020 (soleado).

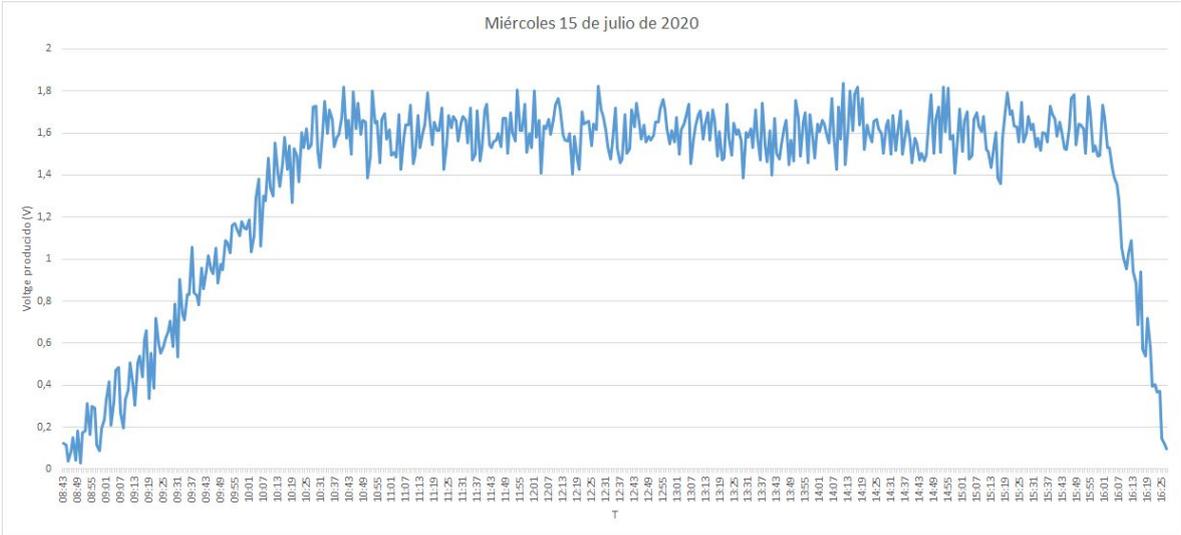


Gráfico 3: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 15/07/2020 (soleado).

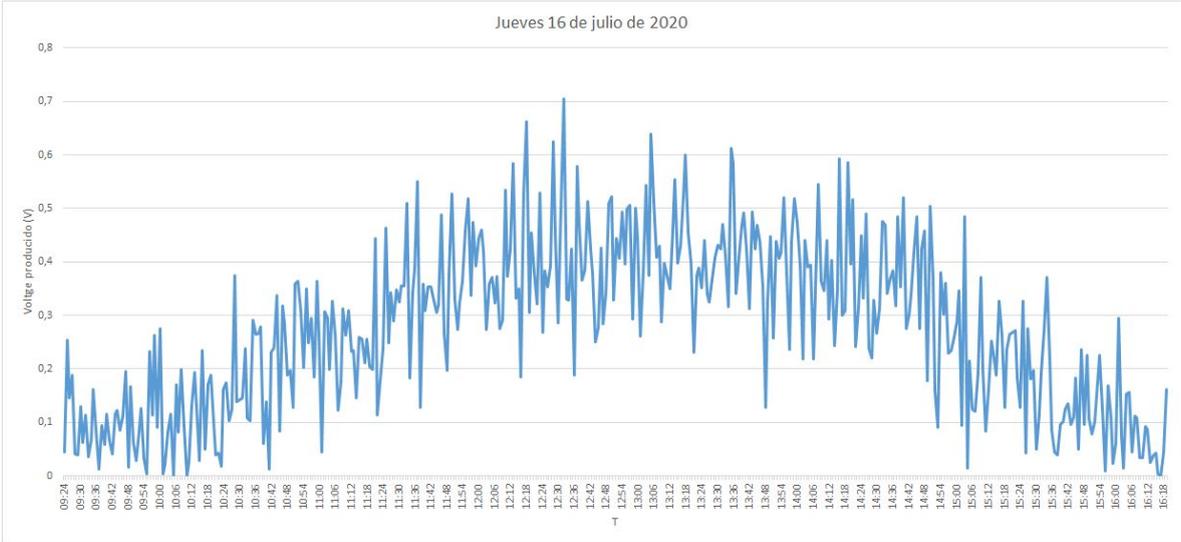
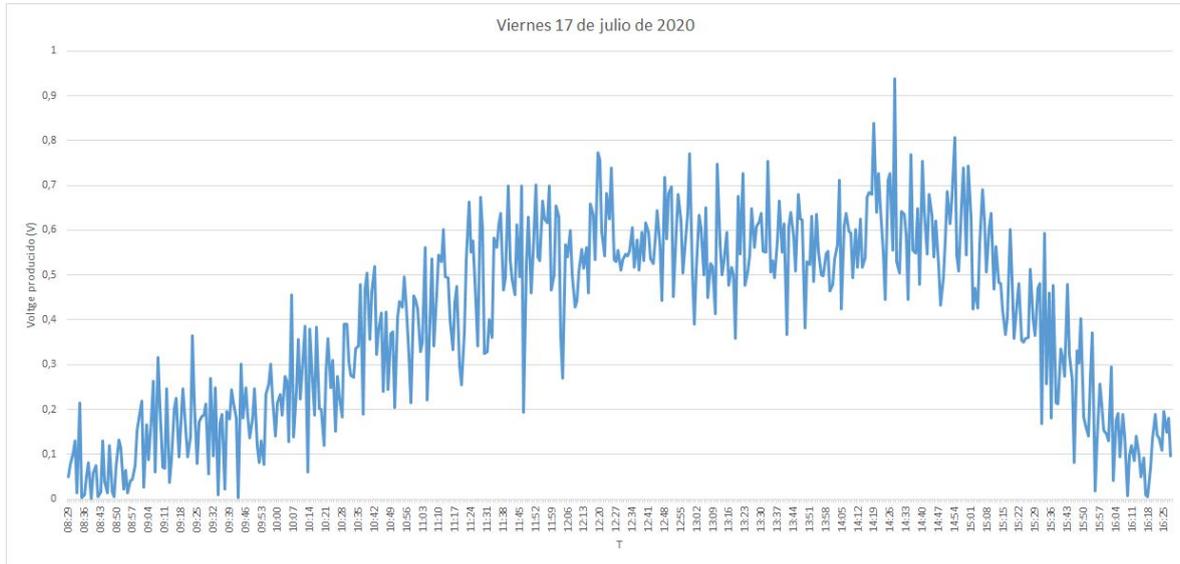
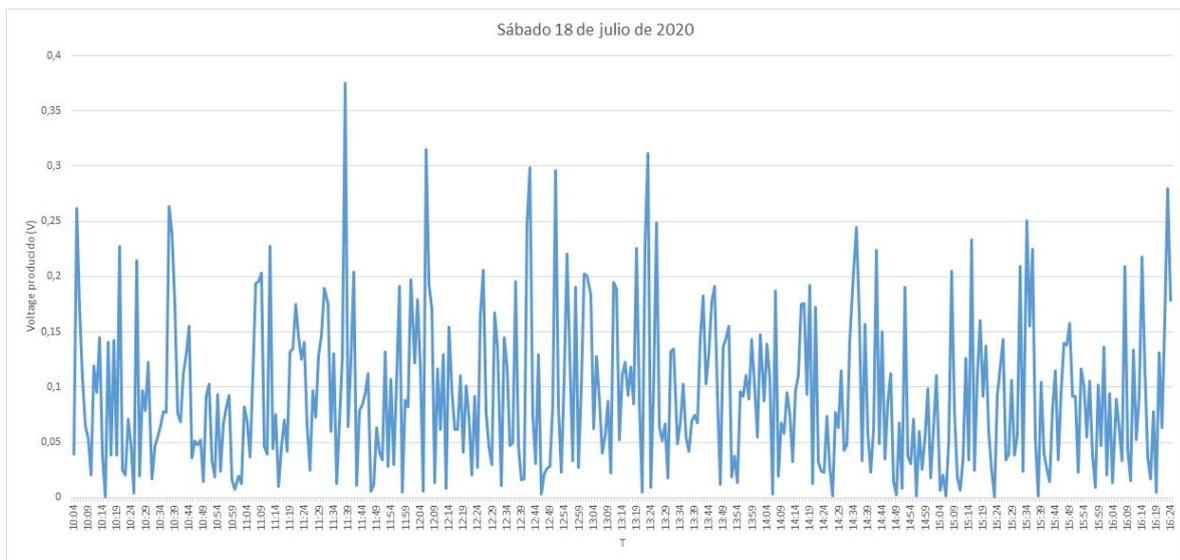


Gráfico 4: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 16/07/2020 (nublado).



**Gráfico 5: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 17/07/2020 (parcialmente nublado).**



**Gráfico 6: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 18/07/2020 (lluvioso).**

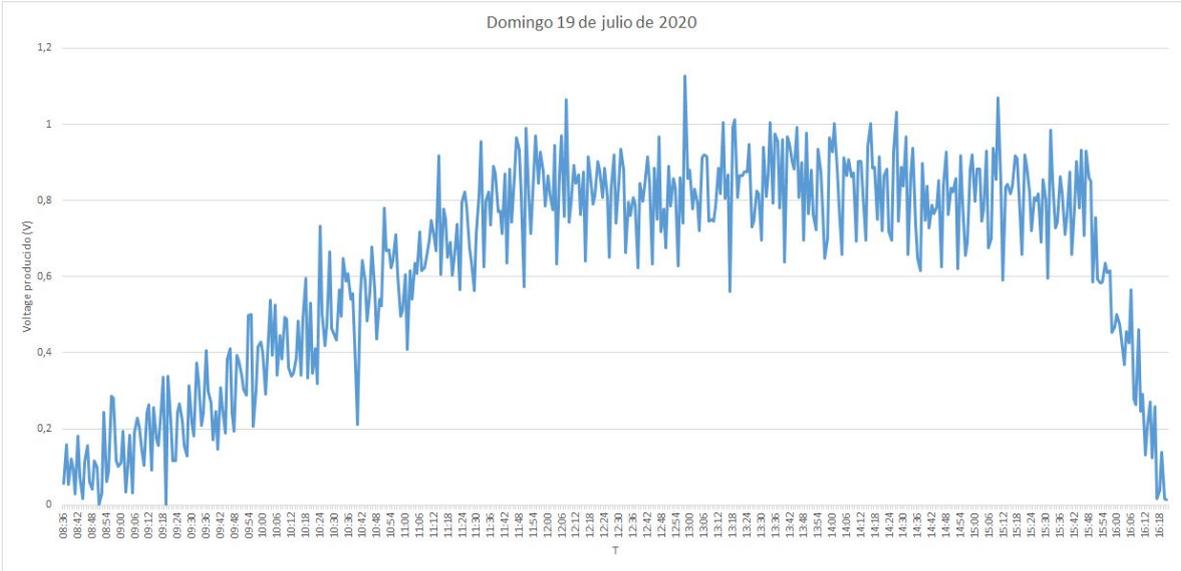


Gráfico 7: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker activado el día 19/07/2020 (parcialmente nublado).

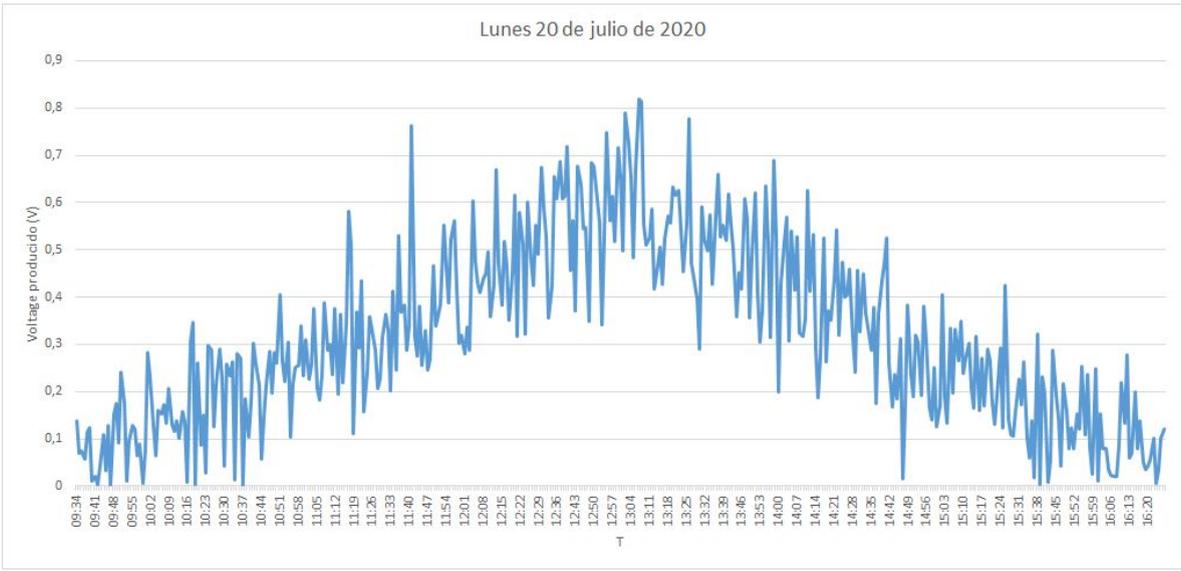
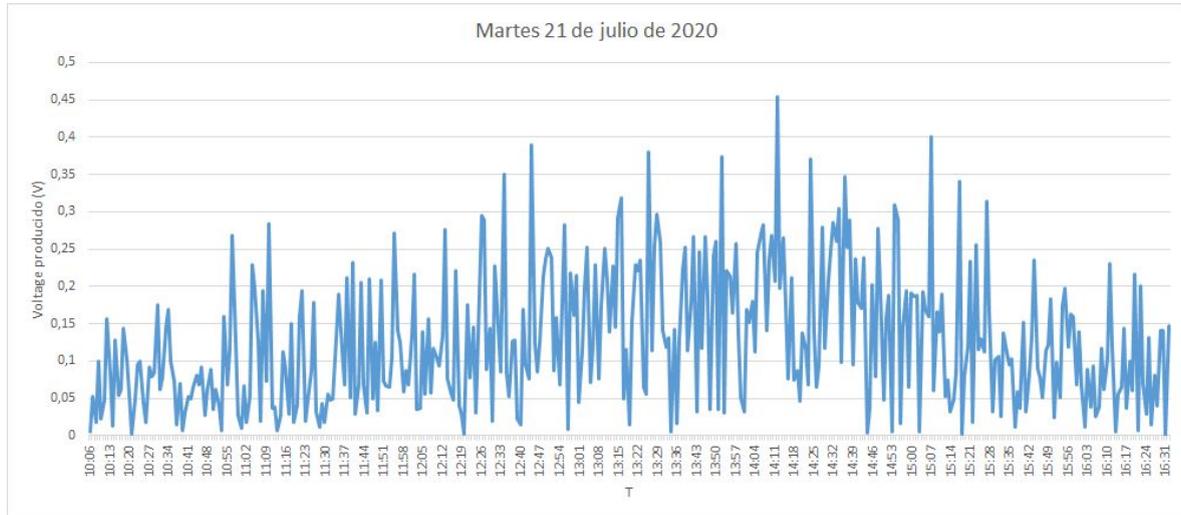
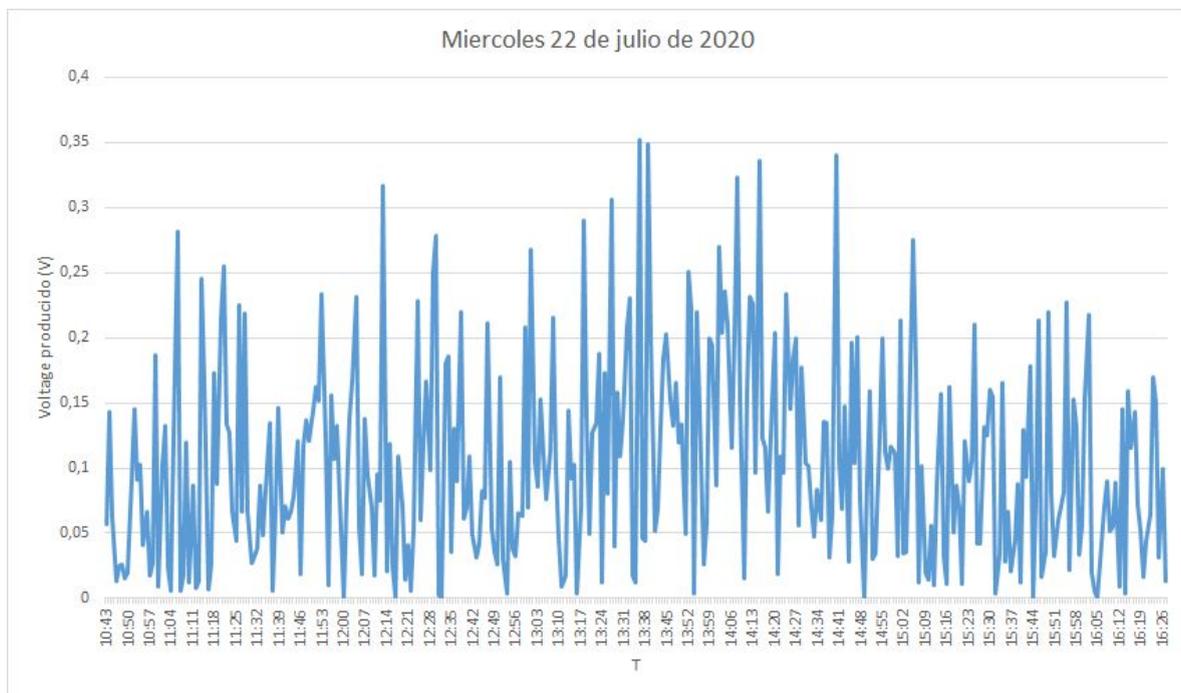


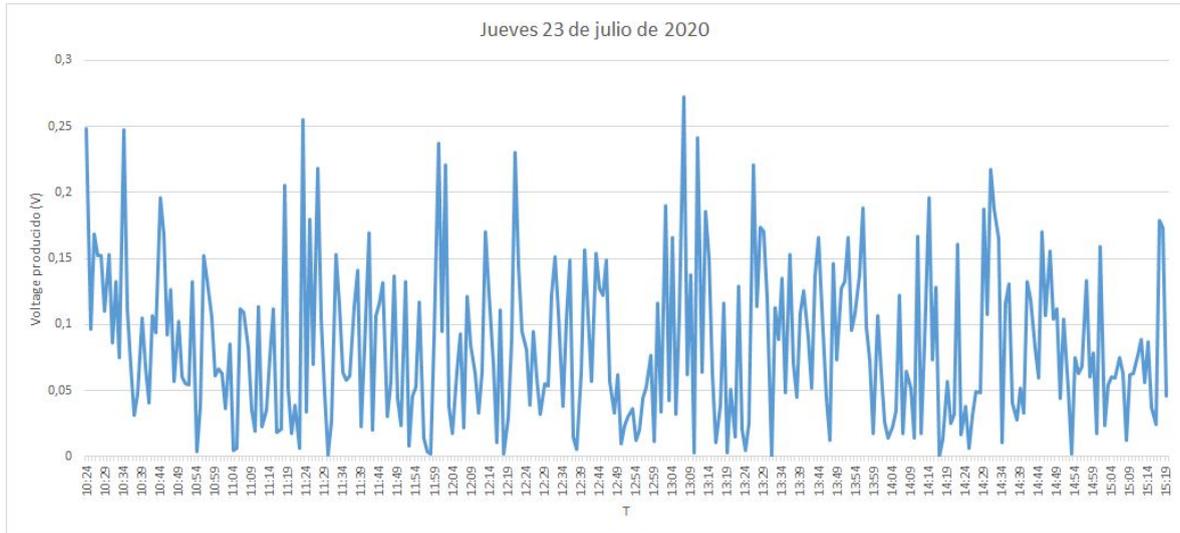
Gráfico 8: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 20/07/2020 (parcialmente nublado).



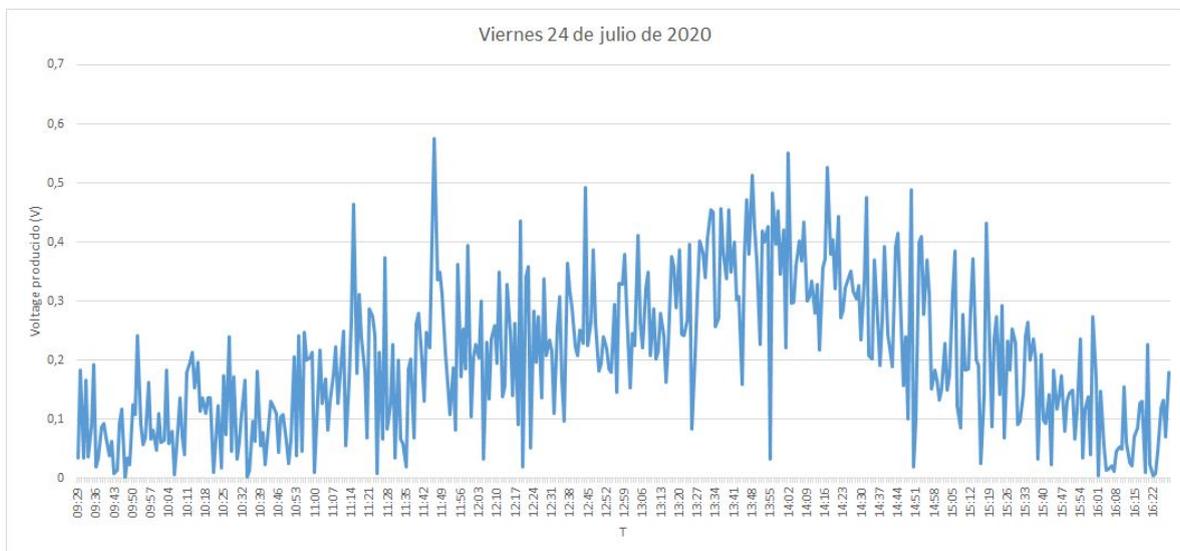
**Gráfico 9:** Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 21/07/2020 (lluvioso).



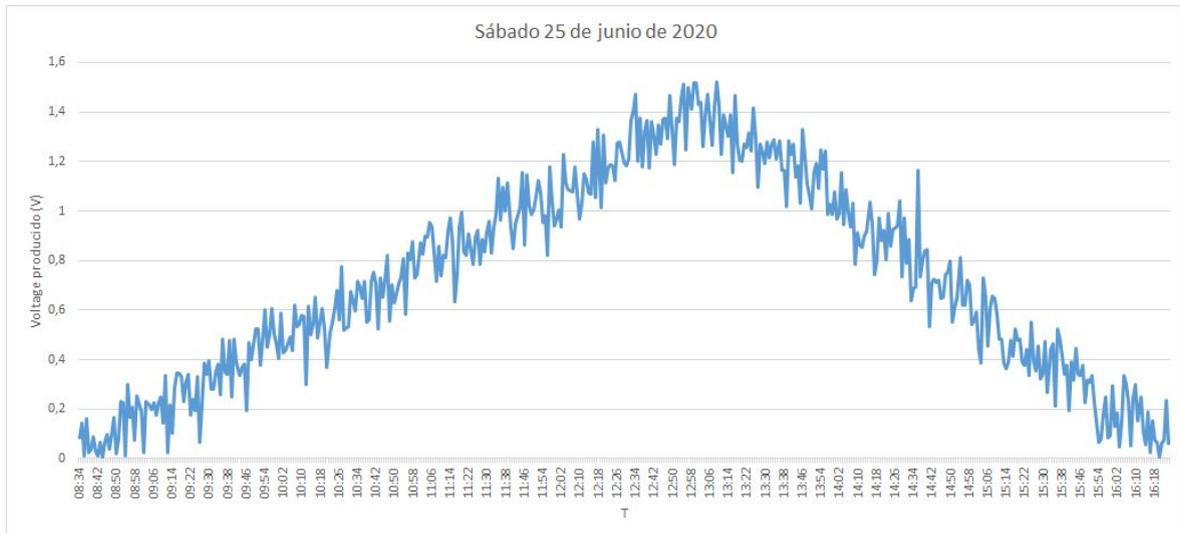
**Gráfico 10:** Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 22/07/2020 (lluvioso).



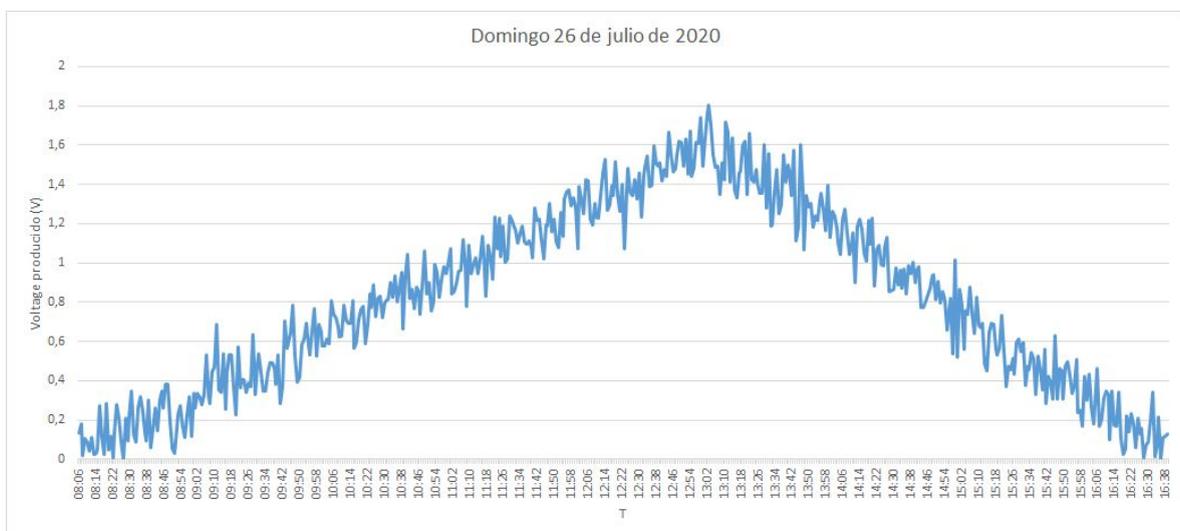
**Gráfico 11: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 23/07/2020 (tormentoso).**



**Gráfico 12: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 24/07/2020 (lluvioso).**



**Gráfico 13: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 25/07/2020 (soleado).**



**Gráfico 14: Voltaje producido a lo largo de un día para el Station con el tracker desactivado el día 26/07/2020 (soleado).**

## Conclusiones

Habiendo concluido el presente trabajo, se puede afirmar que el equipo debió afrontar un número mucho mayor de adversidades al inicialmente provisto. Se cree que estas fueron fruto de la envergadura del proyecto propuesto y del excesivo optimismo causado por el desconocimiento inicial del tema.

Dicho esto, y con un gran esfuerzo se han podido superar todas las adversidades encontradas, dejando como resultado un valioso aprendizaje en innumerables aspectos dentro de los cuales se incluyen:

- Diseño de un protocolo de comunicación e implementación del mismo en diferentes lenguajes y para diferentes plataformas (con sus diferentes características y limitaciones).
- Desarrollo de una plataforma Web integrada por múltiples sistemas con una interfaz que simplifica para el usuario flujos complejos de información a fin de brindar una buena experiencia de usuario.
- Ejecución de flujos asíncronos con la finalidad de preprocesar datos, evitar sobrecargas en puntos críticos del sistema y reducir la latencia del sistema en su totalidad mediante el uso de procesos paralelos.
- Profundizar ampliamente el conocimiento de herramientas como Jira, AWS, frameworks como Spring-Boot, AngularJS, entre otros.
- Incursionar en campos previamente desconocidos (electrónica y modelización de productos) con el objetivo de implementar la solución con los recursos más adecuados. En este caso los recursos más adecuados fueron Arduino y la impresión 3D para modelar el prototipo.
- La profundización en los conocimientos relacionados a la estimación de proyectos utilizando metodologías ágiles resultó crucial para realizar el presente trabajo.
- Adquirencia de nuevos conocimientos respecto a energías alternativas con principal foco en la producción de energía solar fotovoltaica y sus problemáticas.

Si bien como se mencionó en el párrafo anterior se aprendió una basta cantidad de conocimientos, los mismos, en muchos casos, no podrían haber sido fructíferos de no ser porque se contó con los contenidos de diversas materias. Entre las que se mencionan:

- Interacción Hombre-Computadora (HCI)
- Protocolos de Comunicación
- Base de Datos I y II
- Ingeniería de Software I y II
- Proyecto de Aplicaciones Web
- Programación Imperativa
- Estructura de Datos y Algoritmos
- Gestión de Proyectos Informáticos
- Probabilidad y Estadística
- Energías Alternativas

- Taller de Modelización de Productos
- Integración de Sistemas de Información

Como resultado final, gracias a los conocimientos anteriormente mencionados y a través de la implementación del presente trabajo se puede afirmar de forma inequívoca que la eficiencia en la captación de los rayos solares, y por lo tanto en la energía producida, muestra un claro incremento debido a la utilización de un tracker de dos ejes. Adicionalmente, el tracker demostró ser un elemento de gran utilidad en diferentes circunstancias entre las que cabe mencionar:

- Posicionamiento manual (override) a fin de orientar el panel de forma tal que facilite su reparación o limpieza.
- Evitar daños estructurales en el Station durante inclemencias climáticas (vientos fuertes).
- Permitir a los usuarios un mayor control sobre los paneles para que estos de forma manual puedan rotarlos luego de la lluvia para evitar acumulación de suciedad.

En este mundo moderno en el cual obtener la información adecuada en el momento preciso resulta de vital importancia, los sensores en su conjunto con datos agregados por el sistema (trabajos, reportes, etc.) resultan sumamente útiles.

Finalmente, y haciendo uso de la simulación de condiciones se demostró (no empíricamente) que el sistema extendería la vida útil de los paneles impidiendo o minimizando el daño en los mismos en situaciones climatológicas adversas, o bien, ante efectos nocivos como el de manchas a través de un sistema de protección y alertas.

## Mejoras a futuro

Como se mencionó anteriormente, el presente trabajo es una primera versión la cual se encuentra limitada en gran medida debido al tiempo acotado con el que se cuenta para realizar el mismo. Por lo tanto existen numerosas mejoras que podrían implementarse a fin de obtener mejores resultados, así como también un producto más refinado y con mejores prestaciones.

A continuación se enumeran algunas de las mejoras que se observaron a lo largo de la implementación del proyecto.

### Detección de manchas

Resulta posible desarrollar un sistema para detectar manchas de suciedad en los paneles a fin de mejorar los problemas de limpieza, así como también evitar potenciales cortocircuitos debido al efecto que estas manchas producen en algunos modelos de paneles fotovoltaicos. Para desarrollar este sistema, se podría utilizar una cámara que realice capturas periódicas del panel, para que luego las mismas sean analizadas por una red neuronal a fin de determinar si se trata de manchas o no y generar automáticamente un trabajo si así correspondiera.

### Validación del RFID

Actualmente el Station cuando lee un código RFID, emite un sonido para notificar al usuario de la lectura exitosa del mismo, lo almacena y luego cuando se le solicite, lo enviará al Hub, quien a su vez lo enviará al Server. Finalmente este último será el encargado de verificar la validez del mismo (utilizando los criterios mencionados anteriormente en este informe). El problema en esta implementación reside en que al usuario no se le notifica si la validación es o no exitosa, sino simplemente se le indica si la lectura fue correcta.

Podría implementarse un intercambio más complejo de información entre el Server y el Station que permitiera notificar al usuario en tiempo real si su RFID tendrá una acción exitosa o no mediante diferentes sonidos, utilizando el display o una combinación de ambos.

## Reportes de subconjuntos

La plataforma cuenta con una forma de identificar diferentes paneles asignándoles marcas personalizadas (permitiendo de esta manera crear subconjuntos), así como también cuenta con un sistema que genera reportes predefinidos de automáticamente. Sin embargo, no es posible revisar estos reportes o generarlos para un subconjunto de paneles.

## Roles adicionales

Como se mencionó anteriormente, existen 3 roles posibles (ADMIN, CLEANING, MAINTENANCE) limitando en gran medida el sistema de alertas y su comportamiento. La introducción de nuevos roles permitirá una mejor representación del modelo real y por lo tanto implementar de una forma más precisa y útil situaciones actualmente omitidas, un ejemplo de ello sería el modelado de supervisores, y la asignación de acciones, o alertas sobre trabajos abiertos, atrasados, etc, así como también un conjunto de métricas particulares.

## Distribución de paneles

A fin de no sobre complejizar el trabajo en puntos no relevantes al scope del proyecto, se decidió representar todos los paneles en una matriz, causando inconvenientes a la hora de ajustar la distribución de los paneles para que se asemeje a una grilla real. Por otra parte, si se agregan demasiados paneles, resulta poco práctico su uso.

Por lo tanto, se podría implementar un sistema de grupos que permitiera definir zonas, creando una matriz con las mismas. Estas podrían agrupar Stations, o bien, otras zonas de forma recursiva, y al hacer click en un casillero de la matriz, la misma reemplazaría su contenido por el del casillero seleccionado.

## Calibración automática

El sistema podría detectar de forma automática basado en la ubicación geográfica previamente configurada por el usuario el horario y el ángulo relativo en el cual sale y se oculta el sol para posteriormente calibrar de forma automática cada Station dependiendo de la estación.



# Bibliografía

## Investigación

### General

- National Renewable Energy Laboratory (NREL) - <https://www.nrel.gov/>
- Renewable Energy Policy Network for the 21st Century (REN21) - <https://www.ren21.net/>
- "The REN21 Renewables 2018 Global Status Report - GFSE." 7 jun.. 2018, [https://www.gfse.at/index.php?id=40&tx\\_ttnews%5Btt\\_news%5D=203&cHash=df993b0942572cb98231f251a2ad3dbe](https://www.gfse.at/index.php?id=40&tx_ttnews%5Btt_news%5D=203&cHash=df993b0942572cb98231f251a2ad3dbe)
- (2018) Renewables 2018: Global Status Report. - [http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652\\_GSR2018\\_FullReport\\_web\\_-1.pdf](http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2018/06/17-8652_GSR2018_FullReport_web_-1.pdf)
- Banco Mundial (Consumo de energía eléctrica) - <https://datos.bancomundial.org/indicador/EG.USE.ELEC.KH.PC?end=2014&start=1960&view=chart>
- Ministerio de Energía y Minería Presidencia de la Nación Argentina - <https://www.minem.gob.ar/>
- Ministerio de Desarrollo Productivo - <https://www.argentina.gob.ar/que-son-las-energias-renovables#2>
- PV Magazine - <https://pv-magazine-usa.com/>
- Energy Information Administration (EIA) - <https://www.eia.gov/>
- Compañía Administradora del Mercado Mayorista Eléctrico (CAMMESA) - <https://despachorenovables.cammesa.com/historico-energias-mensuales/>
- "Solar's Future is Insanely Cheap (2020) – Ramez Naam." 14 may.. 2020, <https://rameznaam.com/2020/05/14/solars-future-is-insanely-cheap-2020/>
- Energy Global News - <http://www.energyglobalnews.com/eia-projects-50-increase-in-world-energy-consumption-by-2050/>

## Suciedad

- Kelebaone Tsamaase (Automated dust detection and cleaning system of PV module) -  
<http://www.iosrjournals.org/iosr-jeee/Papers/Vol12%20Issue%206/Version-2/L1206029398.pdf>
- Sun Fields Europe (Efecto de las sombras en un panel solar fotovoltaico) -  
<https://www.sfe-solar.com/noticias/articulos/efecto-de-las-sombras-en-un-panel-solar-fotovoltaico/>
- Clean Future -  
<http://www.cleanfuture.co.in/2017/07/01/air-pollution-is-denting-solar-energy-production/>
- HeSolar - <https://www.hesolarllc.com/cleaning-dirty-solar-panels/>
- Mike H. Bergin (Large Reductions in Solar Energy Production Due to Dust and Particulate Air Pollution) - <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.estlett.7b00197>
- PopularMechanics -  
<https://www.popularmechanics.com/science/energy/news/a27112/pollution-can-block-25-percent-of-solar-power/>
- L. Dorobantu, M.O. Popescu, Cl. Popescu, A. Craciunescu -  
[http://www.washpanel.com/file/relazione\\_effetti\\_sporcamento\\_en.pdf](http://www.washpanel.com/file/relazione_effetti_sporcamento_en.pdf)
- Solar Quotes Blog - <https://www.solarquotes.com.au/blog/solar-panel-cleaning/>

## Solar Tracking

- Clean Technica -  
<https://cleantechnica.com/2015/07/24/diesel-killing-diy-solar-tracker-boosts-efficiency-30-filters-water/>
- Solar Energy for Homes - <http://www.solar-energy-for-homes.com/solar-tracker.html>
- Energy Sage - <https://news.energysage.com/solar-panels-hail-hurricanes/>.
- Ken Kingery - <https://pratt.duke.edu/about/news/solar-pollution>
- Thomas Friesen (Hail Testing of PV Modules) -  
[https://www.researchgate.net/publication/268810383\\_HAIL\\_TESTING\\_OF\\_PV\\_MODULES\\_RESULTS\\_OF\\_A\\_ROUND\\_ROBIN\\_FOR\\_HAIL\\_GRAIN\\_QUALITY\\_DETERMINATION\\_AND\\_TESTING\\_RESULTS\\_OF\\_DIFFERENT\\_MODULE\\_DESIGNS](https://www.researchgate.net/publication/268810383_HAIL_TESTING_OF_PV_MODULES_RESULTS_OF_A_ROUND_ROBIN_FOR_HAIL_GRAIN_QUALITY_DETERMINATION_AND_TESTING_RESULTS_OF_DIFFERENT_MODULE_DESIGNS).

## Implementación

### Estructura

- Diseño de la estructura de 2 ejes para seguir el sol - <https://www.thingiverse.com/thing:53321>