Ingeniería y Tecnología

Investigación:

* **TRL1:** Se ha identificado una necesidad o problema específico que la tecnología abordará.
* **TRL2:** Se ha desarrollado una idea o concepto inicial para abordar la necesidad identificada.
* **TRL3:** Las limitaciones de la tecnología han sido identificadas y se ha hecho el planteamiento de las estrategias para abordarlas.
* **TRL4:** Se han validado las componentes de la tecnología en condiciones controladas de laboratorio o semejantes (de baja fidelidad).
* **TRL7:** Se tiene evidencia de resultados positivos del desempeño de la tecnología.

Desarrollo tecnológico:

* **TRL3:** Se cuenta con las primeras versiones de la tecnología desarrollada en condiciones de laboratorio o semejantes (baja fidelidad) con las funciones iniciales.
* **TRL 4:** Se cuenta con un prototipo básico o a nivel de banco de pruebas con componentes básicas integradas.
* **TRL5:** Se cuenta con un prototipo desarrollado a nivel piloto.
* **TRL7:** Se cuenta con un prototipo desarrollado a escala completa.
* **TRL8:** La tecnología cuenta con una versión final que ha sido completamente desarrollada e implementada.

Entorno de Desarrollo

* **TRL 5:** La tecnología a ha sido probada en un entorno de laboratorio o semejante (baja fidelidad).
* **TRL 6:** La tecnología ha sido probada en un entorno relevante o simulado en condiciones controladas.
* **TRL7:** La tecnología ha sido probada en un entorno operacional real en condiciones normales de operación.
* **TRL8:** La tecnología ha sido probada exitosamente en funcionamiento con parámetros fuera de los rangos considerados normales.
* **TRL9:** La tecnología se encuentra completamente implementado y funcionando en el rango completo de condiciones operacionales.

Implementación y comercialización:

* **TRL2:** Se han identificado posibles aplicaciones para la tecnología.
* **TRL6:** Se tienen en consideración las condiciones regulatorias y de cumplimiento en el sistema integrado.
* **TRL8:** Se cuenta con los certificados emitidos por autoridades regulatorias relevantes.
* **TRL9:** La tecnología está completamente operativa, se realiza monitoreo y mantenimiento continuo.
* **TRL9:** Se ha hecho el lanzamiento de la tecnología, además, se está recopilando y analizando datos de los usuarios/clientes para realizar las mejoras pertinentes.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Actividad de I+D+i** | **Nivel TRL** | **Definición** | **Indicadores de Resultados** | **Características** |
| **Investigación básica** | **TRL1**  **Principios básicos de las nuevas tecnologías** | **Identificación y observación** de los **principios básicos** que sustentan una nueva tecnología aplicables a **ingeniería y tecnología**. Esta fase implica investigaciones **teóricas y experimentales** que todavía no tienen aplicaciones específicas en mente. | * Investigaciones científicas **iniciales.** * Observaciones de **principios básicos** y/o físicos. * **Identificación de problemas** relacionados con el desarrollo de la propuesta. | * Los **principios fundamentales** de la idea han sido identificados y observados cualitativamente. * Se hace la **identificación inicial** de la problemática a evaluar. * Las **posibles aplicaciones** son discutidas. |
| **Investigación aplicada** | **TRL2**  **Formulación de conceptos y/o aplicaciones** | Se conceptualizan **aplicaciones tecnológicas** basadas en los principios observados. Esto incluye **estudios preliminares** de la viabilidad de estas aplicaciones, con potenciales en **ingeniería y tecnología**. | * Formulación de **conceptos tecnológicos.** * Análisis **preliminar** de **viabilidad**. * **Estudios iniciales** de impacto de la propuesta. * Reportes de **investigación aplicada**. * Búsqueda de **información tecnológica.** * **Documentación técnica** básica. | * Se inicia con la **revisión de literatura relevante**, definición de hipótesis y objetivos, plan de investigación. * **Experimentos básicos** son realizados para fundamentar la viabilidad de la propuesta. * **Modelado y simulación** de la propuesta en etapa inicial. * Las ventajas técnicas son identificadas y se plantean como tema de interés, se hace una **búsqueda de patentes** relacionadas a los temas de investigación. * Se cuenta con **documentación técnica** básica. |
| **TRL3**  **Prueba de concepto analítica y experimental** | Se realizan **estudios analíticos** y **experimentales** para validar los **principios básicos** observados y aplicados.  Incluye **simulaciones y experimentos** de **laboratorio**, aplicados al **ingeniería y tecnología**. | * Resultados de **pruebas experimentales.** * Validación de **principios básicos en laboratorio**. * Reportes de **experimentos controlados**. * Documentación de **pruebas de concepto**. | * Los experimentos básicos pasan a ser **experimentos de pequeña escala** **focalizados** a la validación experimental de conceptos clave. * Se realizan **pruebas adicionales** a los experimentos a nivel de laboratorio. * En base a los resultados de la experimentación básica, se realizan **estudios analíticos** para predecir el **rendimiento de la propuesta**. * Establecimiento de **prueba de concepto** para fundamentar el funcionamiento en la práctica de la propuesta. |
| **TRL4**  **Validación tecnológica (componentes) en entorno de laboratorio-pruebas de baja fidelidad** | En este nivel se realiza un **prototipo de la tecnología** a desarrollar la cual será **sometida a pruebas de entorno de laboratorio** que demostrará las **características principales del prototipo**.  La **fidelidad del entorno es baja**, es decir, **no representa plenamente las condiciones operativas reales**. | * **Prototipo** a nivel de **banco de pruebas** con componentes básicas **integradas**. * Reportes de **pruebas internas** a **nivel de laboratorio**. * **Documentación de resultados** de simulaciones o pruebas interna a **nivel de laboratorio**. * Documentación de **resultados de rendimiento** en base pruebas de **nivel de laboratorio**. * **Documentación técnica** detallada. * Reporte de **viabilidad de patentabilidad**. | * La **validación de componentes** del sistema desarrollado se hace en **un entorno de laboratorio**. * **El prototipo** se desarrolla a escala inicial de **banco de pruebas**. * En base a la validación de las componentes del sistema, se hace la **identificación de componentes o variables críticas** del sistema. * Se hace una **evaluación de manera analítica del rendimiento** del sistema y/o prototipo(s) en un **entorno de laboratorio.** * Se cuenta con una **patente o proceso de solicitud de patente iniciado**. * Se cuenta con **documentación técnica** detallada. |
| **Desarrollo tecnológico** | **TRL5**  **Validación tecnológica (componentes) en entorno relevante-alta fidelidad** | Es el nivel en el cual la tecnología aplicada al **ingeniería y tecnología** se valida en un **entorno relevante que simula las condiciones operacionales reales**, pero no necesariamente en el campo o en un entorno de uso final. Este nivel se centra en verificar que todos los **componentes del sistema funcionen juntos** como se espera en condiciones casi reales, pero aún controladas. | * Datos de las **pruebas del prototipo a escala piloto** en entornos de alta fidelidad. * Resultados de **ensayos de laboratorio** en **entornos de alta fidelidad** para validación. * Evaluaciones iniciales de **eficiencia y sostenibilidad.** | * La validación del sistema se hace en un **entorno relevante** o simulado en condiciones controladas. * **El prototipo** se desarrolla a **escala piloto**. * Se realiza una evaluación de manera analítica del rendimiento del sistema y/o prototipo(s) en un **entorno relevante o simulado en condiciones controladas**. * Basado en la evaluación analítica del rendimiento y pruebas de validación, se hace un planteamiento de las posibles **mejoras al sistema y/o prototipo(s).** * Identificación de **problemas potenciales** y planteamiento de estrategias para abordarlos. |
| **TRL6**  **Demostración tecnológica (componentes) en entorno relevante-alta fidelidad** | Es el nivel en el cual la tecnología aplicada a **ingeniería y tecnología** se demuestra en un **entorno operativo relevante**. Esto significa que la tecnología se prueba en **condiciones reales de uso**, **fuera de un entorno controlado de laboratorio** o simulación, para validar su **rendimiento en el campo**, pero no es el entorno operativo final. | * Prototipo demostrado y funcionando en **entornos de prueba en campo**. * Informes de **rendimiento en entornos de prueba en campo**. * *Feedback* de usuarios reales en **entornos controlados**. * Plan de mejoras y **cronograma de monitoreo** al sistema/prototipo en base a las **condiciones regulatorias y de cumplimiento**. | * La demostración del sistema/prototipo se hace en un **entorno relevante o simulado en condiciones controladas**. * A partir de los resultados de las evaluaciones analíticas de rendimiento y validación, se hace la **integración de las componentes del sistema** en el **prototipo**. * Se comienza con el diseño de **pruebas a escala operativa**. * Se realiza una evaluación de manera analítica del rendimiento del sistema integrado en un **entorno relevante o simulado en condiciones controladas**. * Se tienen en consideración las **condiciones regulatorias y de cumplimiento** en el sistema integrado. |
| **Innovación** | **TRL7**  **Demostración del funcionamiento del prototipo en entorno operacional-real** | En este nivel la tecnología aplicada a **ingeniería y tecnología** se prueba y se demuestra en el **entorno operativo final**, es decir, en las condiciones reales de uso en campo. Este nivel implica que **la tecnología se utiliza en las operaciones cotidianas y se valida su desempeño en un ambiente operacional real**. | * Informe del funcionamiento del **sistema/prototipo en funcionamiento** con usuarios finales en un **entorno operativo real**. * **Integración con sistemas** existentes y operativos. * **Evaluación económica** detallada. * Informes detallados de **desempeño en operaciones diarias**. * Diseño de **adaptación del prototipo** según las necesidades/preferencias del **mercado**. | * La demostración del sistema se hace en un entorno **operacional real en condiciones de operación.** * El sistema/prototipo integrado es probado a **escala completa**. * Se realiza una evaluación de manera analítica y cuantitativa del rendimiento del sistema integrado en un **entorno operacional real en condiciones de operación**. * Se realiza una evaluación de manera cuantitativa de la confiabilidad del sistema **a nivel operativo**. * Se hace una **evaluación económica** detallada. * Basado en la evaluación de rendimiento y confiabilidad del sistema integrado, se hace un **planteamiento de las posibles mejoras en el diseño final**. * Se hace el diseño de una **adaptación del sistema** integrado para adaptarse a las necesidades y/o preferencias del mercado (Consideración específica para madurez comercial). |
| **TRL8**  **Tecnología Finalizada y Certificada** | La **tecnología** aplicada **a ingeniería y tecnología** está **completamente desarrollada, finalizada** y ha pasado todas las pruebas y certificaciones necesarias para su **implementación.** | * El sistema/prototipo está **calificado para despliegue**. * **Documentación completa** de pruebas y validaciones. * **Certificaciones** regulatorias obtenidas. * Reportes de **uso comercial** extendido. * Informe del **lanzamiento** del prototipo **al mercado**. | * El sistema/prototipo integrado en **condiciones de operación** es analizado cualitativamente a través de pruebas y demostraciones. * El **diseño final del prototipo ha sido completado** tras un análisis en base a resultados de la evaluación de rendimiento y confiabilidad del sistema. * Se hacen pruebas del sistema integrado en funcionamiento con **parámetros fuera de los considerados normales**. * Se hace el **lanzamiento del sistema integrado al mercado**, se evalúa su desempeño en un entorno de mercado en condiciones reales y se realizan ajustes basados en retroalimentación de los clientes (Consideración específica para madurez comercial). |
| **TRL9**  **Tecnología en proceso de implementación o comercialización** | La **tecnología** ha sido probada y demostrada en **su forma final** y está en proceso de ser **implementada comercialmente** o ya se encuentra en el mercado. | * El sistema/prototipo es probado en **operaciones comerciales.** * **Despliegue a gran escala** y monitorización continua. * **Reportes de rendimiento** operativo. * Documentación de **mejoras basadas en datos.** | * El sistema/prototipo se encuentra completamente implementado y funcionando en el **rango completo de condiciones operacionales**. * Se tiene registro de **tareas completadas exitosamente** por el sistema integrado. * El sistema es capaz de integrarse con **tecnologías vigentes** presentes en los procesos de aplicación. * Se realiza un **monitoreo continuo** del rendimiento en operaciones. * Se obtienen todas las aprobaciones de las condiciones **regulatorias y de cumplimiento** en el sistema integrado. * Se inicia con la **comercialización a gran escala** y consolidación de la base de clientes (Consideración específica para madurez comercial)**.** |