

24 de diciembre del 2023

# Compra de instrumento para caracterización de equipos generadores de nanoburbujas elaborados por Kran

**Kran SPA**  
I+D+i

Vicente Andrés Cárcamo P.

Ingeniería Civil Industrial

## Índice

Resumen ejecutivo/Executive summary.....	2
Introducción.....	4
Contexto.....	4
Problema.....	8
Objetivo general.....	9
Objetivos específicos.....	9
Estado del arte.....	10
Metodología.....	11
Posibles soluciones.....	12
Desarrollo.....	14
Medidas de desempeño.....	18
Plan de implementación.....	19
Matriz de riesgos.....	19
Evaluación económica.....	19
Resultados, conclusión y discusión.....	21
Anexo.....	25

## Resumen ejecutivo

Este proyecto se realizó dentro de la empresa chilena Kran, que se originó en Puerto Varas, al sur del país. En ella se trabaja con una tecnología innovadora de “nanoburbujas”, que mundialmente ha permitido conseguir impresionantes resultados en variadas industrias y procesos, con aplicaciones principalmente relacionadas con líquidos, cambiando sus propiedades físicas y químicas.

La empresa ha tenido un crecimiento exponencialmente acelerado en los últimos años, descrito por una ecuación con un exponente aproximado a 2.6, evidenciando desafíos y problemáticas en las diferentes áreas que la componen. Este proyecto se realizó dentro del área de I+D, en la cual se descubrió un potencial cuello de botella que estaría limitando el procesamiento de proyectos del área y, por tanto, de toda la empresa Kran. El interés en seguir experimentando y ofreciendo soluciones con un impacto tanto económico como ambiental solo ha ido creciendo, al igual que el número de proyectos que llegan a Kran y que se proyectan para los años siguientes.

En la búsqueda de medidas para hacer más eficientes sus procesos de trabajo y no encaminarse a un final temprano de esta revolución del uso del agua, se ha analizado otras industrias donde se ha encontrado desafíos similares que han sido solucionados con ciertas metodologías. Específicamente inspirado en la industria de las bombas hidráulicas, se determinó la solución de caracterizar los equipos generadores de “nanoburbujas” de Kran.

La literatura demuestra que ha sido difícil explicar el comportamiento de la tecnología, independiente de esto, se han descubierto ciertos métodos que permiten la generación controlada de “nanoburbujas”. Instrumentos especializados en nanopartículas han facilitado el análisis de algunas características. Se analiza los de las compañías Malvern y Particle Metrix, donde por criterios de precio, facilidad de uso y consistencia se determina que el de Particle Metrix domina.

Esta solución promete una serie de beneficios, entre ellos hacer más eficiente el procesamiento de proyectos por parte del área de I+D, con el objetivo de concretar más soluciones ayudando a diferentes clientes. Dando este paso, Kran podría ser pionero en la industria de las “nanoburbujas” e incentivar al progreso de esta tecnología y sus aplicaciones. La solución incentiva la compra de un instrumento especializado en medición de nanopartículas, su viabilidad económica está argumentada, sin embargo, el riesgo de un nuevo camino, más en una tecnología innovadora en fase de investigación, siempre existirá.

## Executive summary

This project was undertaken within the Chilean company Kran, which originated in Puerto Varas, in the south of the country. The company works with an innovative technology of 'nanobubbles', which globally has achieved impressive results in various industries and processes, mainly related to liquids, changing their physical and chemical properties.

The company has experienced exponentially accelerated growth in recent years, described by an equation with an exponent of approximately 2.6, highlighting challenges and issues in its various divisions. This project was conducted within the R&D department, where a potential bottleneck was identified that could be limiting the project processing throughput of the area, and thereby, of the entire Kran company. The interest in continuing experimentation and offering solutions with both economic and environmental impacts has only been growing, as has the number of projects arriving at Kran, projected to increase in the coming years.

In the search for measures to make their work processes more efficient and not head towards an early end of this water use revolution, other industries have been analyzed where similar challenges have been solved with certain methodologies. Specifically inspired by the hydraulic pump industry, it was determined to characterize Kran's nanobubble generating equipment.

The literature shows that it has been difficult to explain the technology's behavior, but certain methods have been discovered that allow the controlled generation of 'nanobubbles'. Specialized nanoparticle instruments have facilitated the analysis of some characteristics. The ones from the companies Malvern and Particle Metrix are analyzed, where, based on criteria of price, ease of use, and consistency, it is determined that the one from Particle Metrix dominates.

This solution promises a series of benefits, among them making the processing of projects by the R&D area more efficient, with the aim of materializing more solutions helping different clients. By taking this step, Kran could become a pioneer in the nanobubble industry and encourage the progress of this technology and its applications. The solution encourages the purchase of a specialized instrument in nanoparticle measurement, its economic viability is argued, however, the risk of a new path, especially in an innovative technology in the research phase, will always exist.

# Introducción

Kran es una empresa que fabrica equipos generadores de nanoburbujas con los que ofrece soluciones de tipo Hardware as a Solution (HaaS), con un modelo Business to Business (B2B), a diferentes industrias, con principal foco de hacer más eficientes procesos que involucren el uso de agua. Por cambios en las propiedades físicas y químicas del agua al contener nanoburbujas, existen beneficios que vienen a revolucionar el desempeño de algunos procesos en múltiples industrias.

## Contexto

Kran nace el 2017 en Puerto Varas, experimentando con la tecnología de nanoburbujas, con una visión al largo plazo, ya que esta tecnología y su aplicabilidad en procesos de variadas industrias, sigue en fase de investigación, debido a que sus beneficios y resultados aún no se explican científicamente. Como puede verse en el gráfico 1, Kran ha tenido un crecimiento acelerado en número de proyectos, no así en número de trabajadores, alcanzando a la fecha alrededor de 300 y 50 respectivamente. Esto se traduce en una serie de desafíos que tienen las empresas al empezar a crecer de manera acelerada. Uno de los grandes, es poder adaptarse al crecimiento y que este no acabe con la empresa. Kran ha ido aumentando el número de trabajadores a medida que surgen nuevos proyectos, pero esto no puede continuar eternamente, dadas las implicancias que tiene el crecimiento de equipo. Aumentos en costos como: sueldos, arriendo de oficinas, equipo para el personal, sistemas de información, etc. Sumando las complejidades de comunicación entre mismos equipos o diferentes áreas y posible ramificación de objetivos. Es importante que no se pierda el foco principal de la empresa: revolucionar el uso de agua en las diferentes industrias. Por esto último, es clave aumentar eficiencias de diferentes tareas diarias y optimizar procesos que puedan significar pérdidas de oportunidades o frenos al crecimiento de la empresa. De esta manera, Kran podrá llegar implementar soluciones junto a más clientes e industrias, aportando de esta manera a 7 de los 17 ODS<sup>1</sup> con su lema de “devolver al planeta lo que le hemos quitado”.

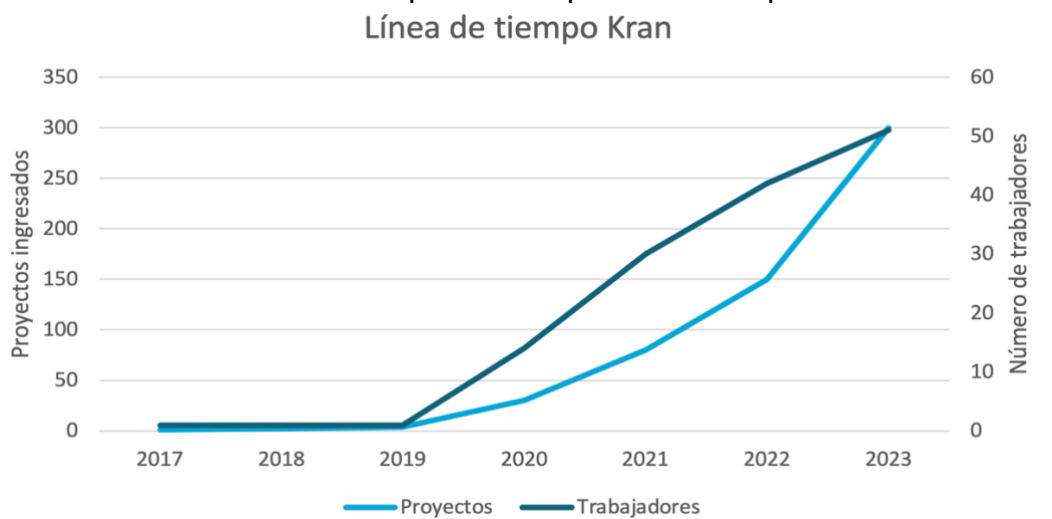


Gráfico 1: Línea de tiempo de Kran; representando el número de proyectos y trabajadores en el tiempo. Elaboración propia.

<sup>1</sup> Objetivos y metas en Anexo 1.

Los proyectos de la empresa se dividen en tres áreas comerciales: Agrícola, Acuícola e Industrial. Esto con el fin de tener en cada una de estas áreas, profesionales con experiencias en estas industrias o con estudios relacionados.

En cuanto a la generación de nanoburbujas, si bien se puede conseguir con diferentes equipos, gases, ajustes y escalas, la forma de operar los equipos de Kran, no tiene variación significativa entre un área y otra. Algunos clientes tienen ciertas normas más exigentes que otros (ejemplo: materiales utilizados en equipos para industria alimenticia), sin embargo, esto no cambia el principio de funcionamiento de los equipos y el servicio ofrecido. Por esto último, todos los proyectos pasan por un ciclo comercial estándar (figura 1), que ayuda a mantener el orden del avance de los proyectos. Este se actualiza en línea en planillas Excel compartidas y además se utiliza para organizar tareas e información, logrando así acercarse a la implementación del proyecto.

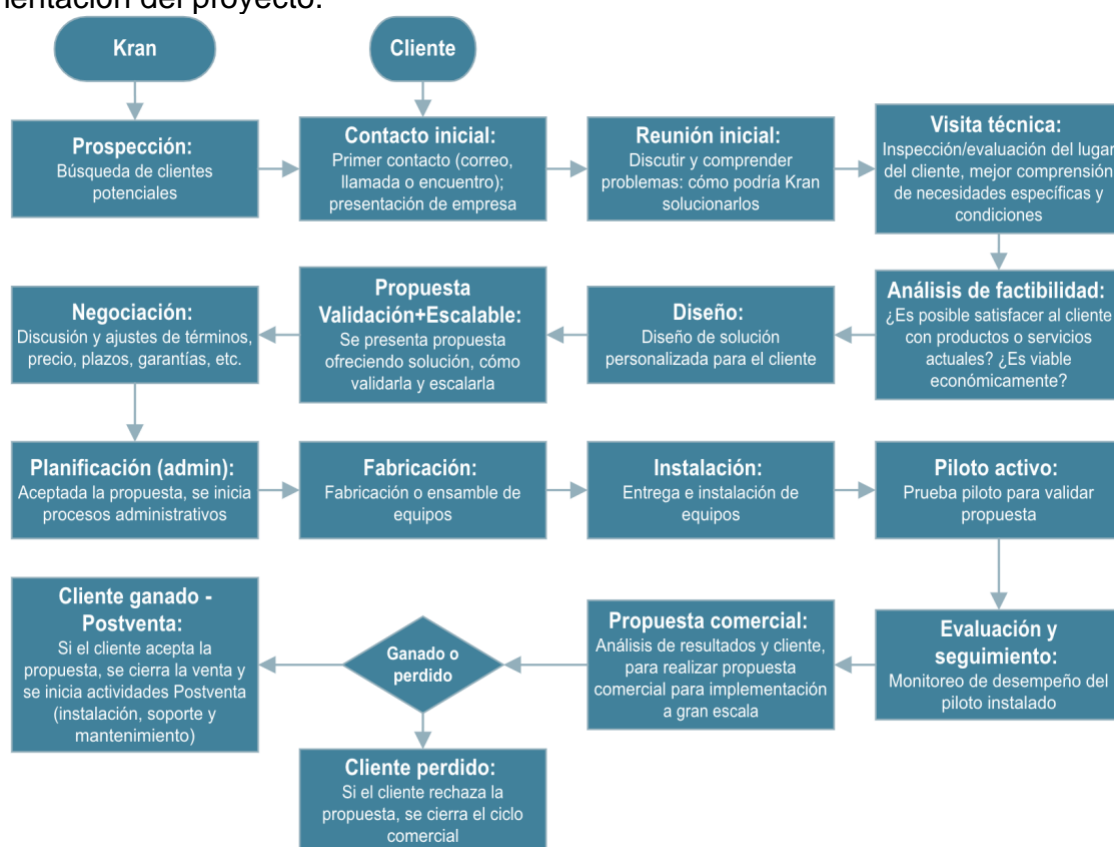


Figura 1: Ciclo comercial de Kran. Elaboración propia

La ruta de proyectos del ciclo comercial, disponible en la figura 1, representa etapas con un orden lógico, que tienen que cumplirse por las diferentes áreas según corresponda (Áreas comerciales / I+D / Administración y Finanzas). Como puede verse en el diagrama, existen dos maneras de que se inicie el ciclo. Una de ellas es la Prospección, donde Kran se encarga de buscar clientes y la otra es cuando el mismo cliente realiza el contacto inicial. Las siguientes etapas se vuelven condicionales, es decir, si no se cumple una etapa, no se puede avanzar con la siguiente. Esto para que el avance siga un orden y sea claro, para que así, quién continúe el trabajo de la siguiente etapa, no tenga retrasos en su labor y el proyecto pueda avanzar de manera eficiente.

El área de I+D, en la cual se desarrolla la pasantía, está involucrada en 9 de las 16 etapas del ciclo comercial, las cuales pueden verse en la figura 2. Esta cuenta con 10 de los 50 trabajadores de Kran.

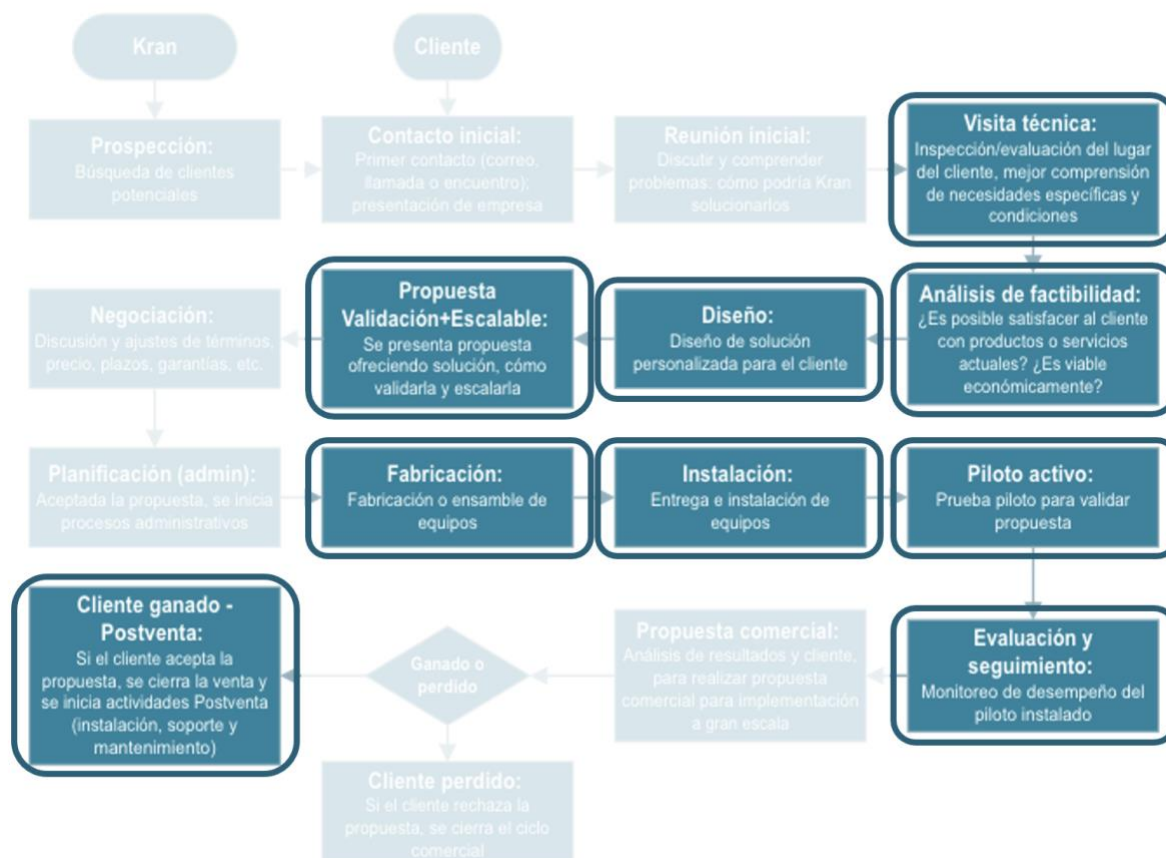


Figura 2: Etapas del ciclo comercial en las que está involucrada el área I+D. Elaboración propia.

Como se mencionó antes, si no se cumplen las etapas, el proyecto no avanza hasta ser ejecutado. Contando con un 20% de los trabajadores de la empresa e involucrada en más de 50% de las etapas del ciclo comercial, el área de I+D es un potencial cuello de botella para Kran. Las etapas en las que no está involucrada el área tienen un output estándar que no requiere un trabajo personalizado. Por ejemplo, en la etapa de “Reunión inicial” las áreas comerciales deben recopilar información, datos de la industria y proceso del cliente, para canalizar y poder proceder con el desarrollo y diseño de los proyectos. Por el lado de las etapas que involucran a I+D, al Kran ofrecer un producto personalizado, cada proyecto es un caso particular con el desafío de cómo adaptarse a la situación, conseguir mejoras de procesos y solucionar problemas de los diferentes clientes.

En la etapa “Análisis de Factibilidad”, donde se analiza de qué manera el sistema Kran puede resolver el caso del cliente, se determina que equipo y que tipo de gas, en las condiciones dadas, sería la opción adecuada. Aquí hay cierta incertidumbre que aparenta ser parte del problema, dado que la solución se realiza basada en las aplicaciones exitosas actuales, independiente de que las



configuraciones y condiciones de operación sean diferentes, se decide una opción que “podría” satisfacer según la experiencia al caso del cliente. Se confía en que el sistema utilizado es robusto y que la variabilidad de configuraciones y condiciones no afecta, siendo que no se ha validado esta robustez y consistencia, independiente de que se obtenga resultados favorables.

“Piloto activo”, consiste en dejar andando el sistema instalado, evaluando que las primeras semanas el funcionamiento se mantenga en orden, para asegurar que la instalación realizada haya sido correcta. Una vez se estabiliza el funcionamiento, se comienza a esperar períodos de 1 a 2 meses, para ver los cambios generados en el proceso del cliente. Generalmente es necesario ir ajustando la configuración y volver a esperar este período, dado que no se alcanzan los resultados esperados en una primera iteración. No suele tomar menos de 6 meses hasta que esta etapa de “Piloto activo” sea concluyente.

Se analizó todos los datos, aproximadamente 300 proyectos, de las planillas Excel del área comercial mencionadas anteriormente. En el gráfico 2 se representó las 16 etapas y el número de proyectos ingresados a la fecha; cada uno se posiciona en la etapa que se encuentran. Los proyectos en esta gráfica evidencian la forma de embudo que representa el cuello de botella generado por el área de I+D.

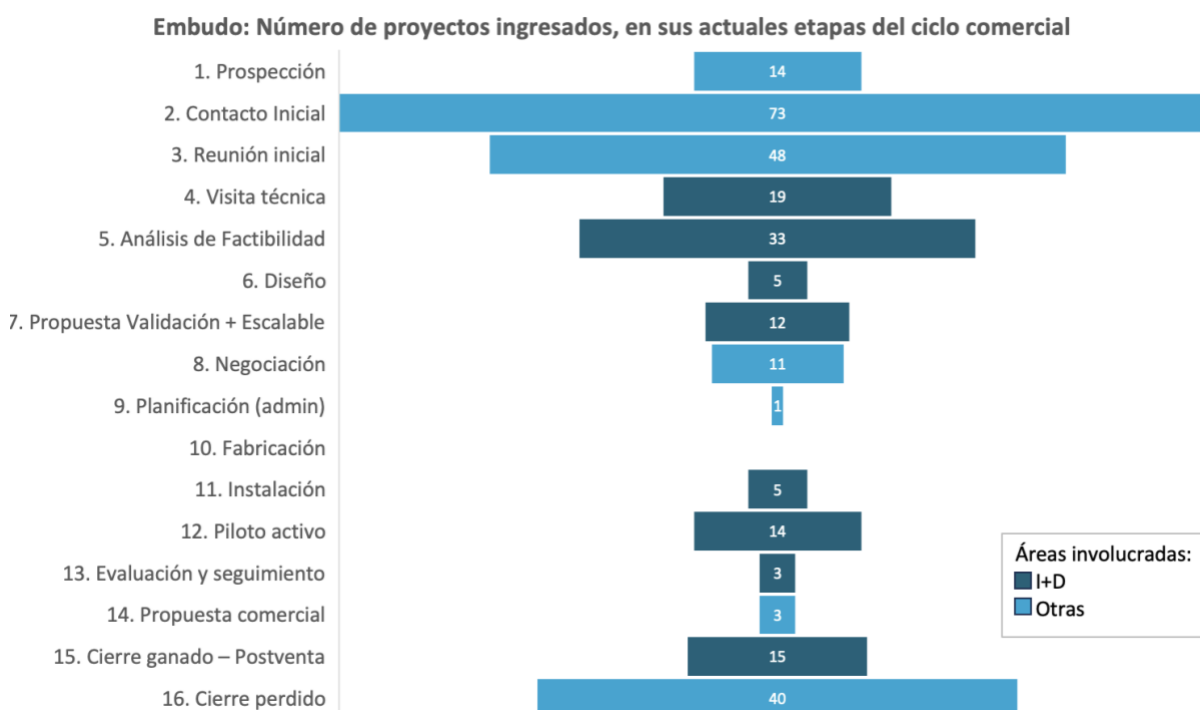


Gráfico 2: Avance de etapas representado gráficamente por etapa; evidencia de embudo. Elaboración propia.

Analizando el embudo graficado, existen dos etapas específicamente que están acumulando proyectos y son las de “Análisis de Factibilidad” y “Piloto activo”, en otras palabras, ambas etapas son las más críticas actualmente y están generando el cuello de botellas del área de I+D. Comprendiendo ambas etapas, con la explicación anterior de cada una de ellas, se ve que existe cierta incertidumbre o



complejidad en ellas y claramente esto está afectando al procesamiento de proyectos completo en Kran.

## Problema

Actualmente se utiliza una serie de equipos generadores de nanoburbujas<sup>2</sup>, pero se carece de una caracterización detallada y sistemática del comportamiento de cada equipo, bajo diferentes escenarios. Esta falta de información genera incertidumbre y hace que se requiera más tiempo al seleccionar equipos y dimensionar los proyectos en la etapa de “Análisis de Factibilidad”. Además, puede resultar en subdimensionamiento, incapaz de cumplir con las expectativas, y aumentos en el número de iteraciones en la etapa de “Prueba piloto”, lo que eleva los costos y requiere de mayor tiempo hasta consolidar el proyecto, aplazando así una posible nueva fuente de ingresos. La ausencia de esta caracterización limita la capacidad de Kran para predecir y diseñar soluciones óptimas para proyectos futuros, lo que podría ser razón de rechazo de propuestas, por parte de los clientes. Esto destaca la oportunidad para mejorar la eficiencia del procesamiento de proyectos por parte del área de I+D.

Analizando el avance, surge la siguiente pregunta. Si se lograra hacer más eficiente el proceso de etapas de I+D y como resultado cerrar uno o más proyectos adicionales al mes, ¿cuál sería el incremento en las utilidades mensuales de Kran, considerando utilidades de un “proyecto tipo”? Esto es un costo de oportunidad que se está dejando pasar, para el cual puede haber múltiples soluciones, con sus respectivos costos y complejidades, que, como resultado puedan hacer más eficiente el proceso, significando en una oportunidad de mayores utilidades mensuales que permitan a Kran desarrollarse como empresa y aplicar su tecnología a más industrias, logrando hacer una diferencia significativa en la eficiencia de uso de agua para diferentes procesos y productos de múltiples industrias.

El 5% de los proyectos, a la fecha, han llegado a cierre ganado. Es decir, de 300 proyectos, 15 proporcionan un ingreso mensual seguro, obviando el caso de que surja una tecnología o empresa que ofrezca un mejor desempeño que el de Kran o similar a un menor precio. Basado en la línea de tendencia del gráfico 3, Kran ha experimentado un crecimiento potencial durante los últimos años<sup>3</sup>. La ecuación  $y = 4,2739 \cdot x^{2,6363}$ , obtenida con Microsoft Excel, tiene un  $R^2 = 0,9958$ , indicando que se ajusta casi a la totalidad de la variabilidad de los datos. Si bien generalmente es deseable tener más datos, se confiará en el modelo para hacer una predicción en un plazo de 2 años, para estimar cómo crecerá el número de proyectos ingresados. Se espera que se ajuste anualmente, dado que los valores estimados no necesariamente se cumplirán, por esto se le atribuyó un error arbitrario de 10%<sup>4</sup>, para que se tenga en consideración que el crecimiento puede acelerarse, cómo también desacelerarse. Utilizando la ecuación, al término del año 2024 se estima que haya 480 proyectos ingresados. Si se continúa con esta tasa de 5%<sup>5</sup>, habría un total de 24 “Cierres

---

<sup>2</sup> Ficha técnica de equipos en anexo 4

<sup>3</sup> Explicado en Anexo 2

<sup>4</sup> Cálculo explicado en Anexo 3

<sup>5</sup>  $\frac{\text{Cierres ganados}}{\text{Total proyectos ingresados}}$

ganados”. A partir de este dato, se propondrá una meta de aumentar esta tasa en 1,25 puntos porcentuales, para así alcanzar los 30 proyectos con “Cierre ganado” a fines del 2024.

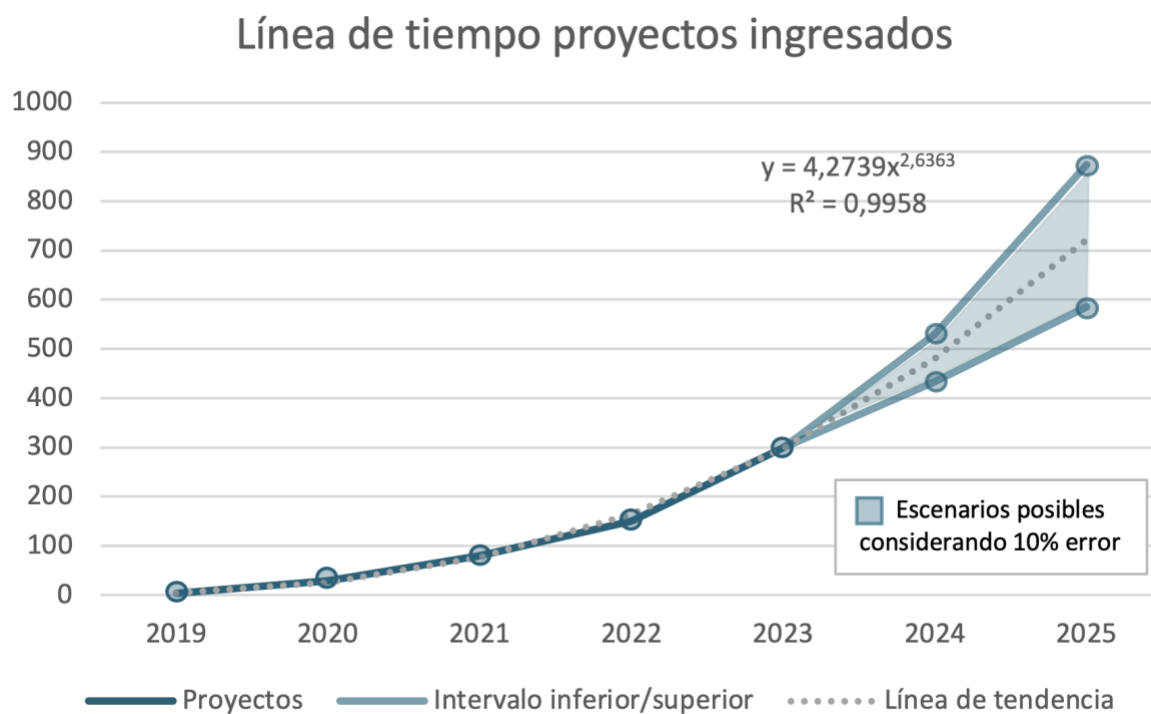


Gráfico 3: Gráfico de proyectos ingresados; línea de tendencia con su ecuación y R cuadrado. Elaboración propia.

## Objetivo general

Aumentar la tasa de conversión de proyectos en 1,25 puntos porcentuales, para alcanzar los 30 proyectos con “Cierre ganado” a finales del año 2024.

## Objetivos específicos

- Determinar manera que permita comprender mejor el funcionamiento de los equipos generadores de nanoburbujas de Kran
- Reducir el tiempo promedio que toma la etapa “Prueba piloto”
- Analizar en períodos de 3 meses el avance de los proyectos, permitiendo validar o corregir la estimación de proyectos ingresados y analizar la tasa de conversión de proyectos. Logrando de esta manera seguimiento del objetivo general.

## Estado del arte

### Industria de fabricación de bombas hidráulicas

En la industria de las bombas hidráulicas, tal como se aprendió en el curso de “Procesos Industriales” de la malla curricular, se generan curvas detalladas de rendimiento, que ayudan en la selección de equipos y diseño de soluciones, sin tener que “hacer pruebas” o “iteraciones” con diferentes equipos, hasta llegar a un resultado deseado. Esto se logra con cierta metodología estandarizada para caracterizar los equipos en ciertos rangos útiles, que serán requeridos en aplicaciones reales.

En la empresa chilena Vogt, antiguamente, para caracterizar sus bombas, eran enviadas a empresas dedicadas a la caracterización, lo que tenía su costo en tiempo, libertad y dinero, además de confiar plenamente en que los resultados sean correctos como para presentarlos a los clientes<sup>6</sup>, es completamente distinto tener el control de las pruebas de calidad al alcance propio. Evidentemente también hay un aumento de confiabilidad en los clientes.

*“...beneficio directo que reciben nuestros clientes...”<sup>7</sup>*

Estos detalles y seguramente sumada una evaluación económica, validaron la inversión de este espacio para pruebas, que les permitiría caracterizar personalmente sus equipos y hacer otro tipo de pruebas.

Claramente existen beneficios al tener caracterizaciones de los equipos para la industria de bombas hidráulicas, así se logra entender en mayor profundidad el funcionamiento de estos, además de analizar la necesidad de desarrollar nuevos, según requieran sus clientes, o mejorar el desempeño de los actuales.

### Industria de fabricación de bombas hidráulicas v/s industria de nanoburbujas

En la industria de equipos generadores de nanoburbujas, aún no hay empresas que caractericen los equipos o no existe una caracterización estándar, dado que es una materia e industria que sigue en fase de investigación y sus beneficios y resultados aún no se explican científicamente. Sin embargo, existen instrumentos utilizados para otras nanotecnologías, que permiten realizar ciertas mediciones. En Chile hay universidades que cuentan con estos instrumentos, como la Universidad de Chile y la Universidad de los Andes.

En algunas investigaciones científicas, hay ciertas “caracterizaciones” o mediciones de desempeño al generar nanoburbujas, estas no son estándar, pero son una fuente de ideas para posibles maneras de caracterizar los equipos.

En la figura 3, se puede ver una especie de caracterización de un método de generación particular, de cavitación con ultrasonido. Esta investigación midió el

---

<sup>6</sup> Comentario del subgerente de Innovación de Vogt, Julio Fuentes, en reunión con él.

<sup>7</sup> <https://blog.vogt.cl/2023/03/28/en-vogt-tenemos-un-banco-de-ensayo-unico-en-chile/>

desempeño de generación de nanoburbujas en el tiempo que se produjo la cavitación con ultrasonido, de esta manera en el eje vertical principal, de barras moradas, se puede ver la concentración de nanoburbujas por mL. El eje secundario muestra cuánta energía se requirió para ese tiempo de cavitación y esa concentración de nanoburbujas generadas. Si bien el método de generación de Kran, hidrodinámico a través de cavitación, es distinto, se pueden tomar ideas para desarrollar la caracterización ideal.

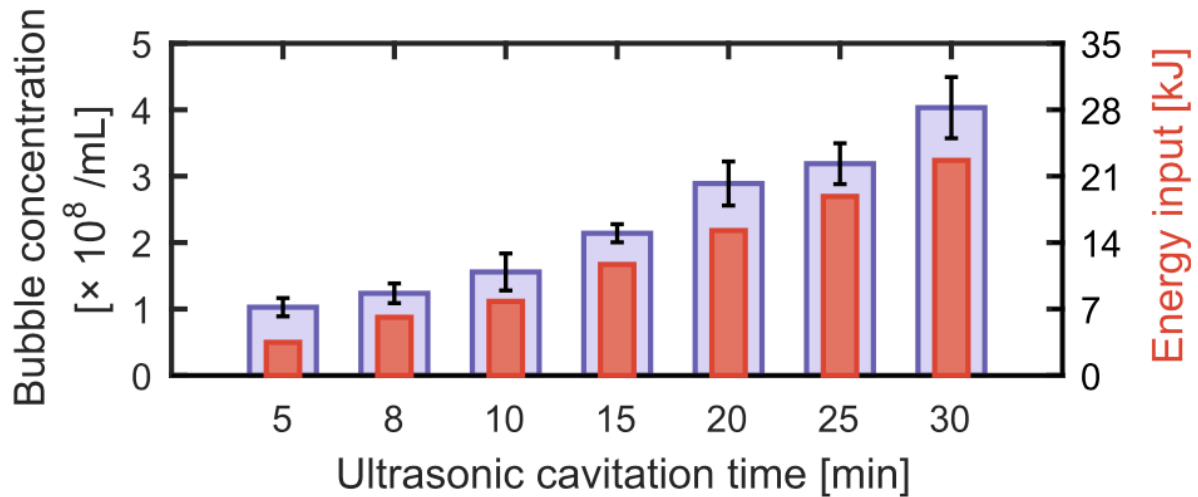


Figura 3: Gráfico b de Fig.1 en “How bulk nanobubbles are stable over a wide range of temperatures”; Minabo Li, et. Al 2021

Por esto, surge una posible solución de caracterizar los equipos generadores de nanoburbujas de Kran, para así poder seleccionar la solución óptima para la aplicación de cada cliente.

Sin embargo, existen caminos por evaluar, para ver qué será más conveniente para el caso. Uno de ellos sería similar a la inversión que realizó Vogt, adquirir instrumentos propios para poder caracterizar de manera interna los equipos y el otro sería arrendar el uso específico de instrumentos, que se requiera para realizar la caracterización de los equipos a los establecimientos universitarios mencionados u otros.

## Metodología

Diseñando una caracterización tipo, según las mediciones que se quiera hacer en Kran, basado en valores utilizados en aplicaciones propias, además de entender las implicancias que tenga medir con los diferentes instrumentos, permitirá simular cuántas pruebas habría que hacer y cuánto tiempo se necesita hasta obtener los resultados, además de otros costos asociados. Esto permitirá hacer una evaluación económica del proyecto, para determinar su viabilidad y tomar la mejor decisión para su implementación y desarrollo.

La metodología utilizada, está inspirada en la manera de operar que Kran ha desarrollado y puesto a prueba, donde se analiza las condiciones y requerimientos de cada cliente, para luego evaluar y dimensionar la solución que se puede ofrecer a partir de los equipos generadores que posee Kran. Especialmente la etapa de “Prueba

piloto” requiere constante atención, al ser las últimas pruebas antes de escalar la solución y consolidar el proyecto. Aquí es donde urge el análisis y la mejora continua de los procesos. Si bien los primeros proyectos fueron llevados de cierta manera, para los siguientes se estudia las complejidades y se busca una solución que permita mejoras. Esto se realiza constantemente, de esta misma manera se espera realizar este proyecto, dado que, si bien en el diseño puede parecer que todo resultará en orden, en el camino puede que ocurran sucesos inesperados y no por esto se va a dar término al proyecto, si no que estará abierto a mejorar constantemente, adaptarse y tomar cambios si así se requieren. El entorno de la industria de nanoburbujas está en constante evolución, lo que obliga a empresas como Kran, tener flexibilidad y agilidad en cuanto a cambios y nuevas oportunidades que surjan en el camino.

## Posibles soluciones

Se quiere desarrollar una caracterización de los equipos generadores de nanoburbujas, con ciertas combinaciones de parámetros acordadas, basados en rangos aplicables y coherentes con las características de cada equipo. Consiguiendo de esta manera comprender mejor el funcionamiento y desempeño de los equipos de Kran en diferentes condiciones, en honor a reducir el tiempo que demoran ambas etapas críticas del área de I+D mencionadas anteriormente.

Como se mencionó, existen instrumentos que se crearon para mediciones de nanopartículas y además son utilizados en múltiples investigaciones<sup>89</sup> sobre nanoburbujas. Estos instrumentos, idealmente, deben ser utilizados de manera rigurosa, siguiendo un protocolo estandarizado, para poder obtener resultados representativos y reales. En la Universidad de Chile cuentan con los instrumentos *Nanosight NS300* y *Zetasizer ZS* de la empresa Malvern, los cuales son una opción para elaborar una caracterización de los equipos generadores de nanoburbujas de Kran. Estos ya se han utilizado para pruebas puntuales de interés interno o para clientes que lo solicitan, por lo que se conoce a los operadores, las capacidades y costos de la medición con aquellos instrumentos<sup>10</sup>. Otro instrumento para realizar mediciones de este tipo es el *ZetaView*, de la empresa alemana Particle Metrix.

Para profundizar el análisis, a partir de obtenidos, se realizó una estimación que se puede ver en la tabla 1, donde se consideró tres opciones de solución, que cumplirían las caracterizaciones mencionadas y determinadas en la tabla 2. Para estas se evaluó con los criterios de tiempo requerido y costo total por cada opción.

Recordando que la solución es realizar la caracterización los equipos de Kran, para alcanzar el objetivo general propuesto, se debiera colocar atención a la última fila de la tabla 1. En cuanto al tiempo, ~~como se pudo ver en el análisis de la figura 4,~~ la opción 1 tiene desventajas al lado de las otras dada su capacidad y requiere cerca de 4 veces más que las otras opciones, según este criterio, ya podría descartarse la

---

<sup>8</sup> “Bubble size distribution and zeta potential values were measured using a *Malvern Zetasizer Nano ZS*.” (‘Stability of Nanobubbles’, Meegoda et Al., 2018)

<sup>9</sup> “The bubble size distribution of the BNBs ranged from 50 to 400 nm, which was measured by nanoparticle tracking analysis (*Nanosight-NS300*, Malvern, UK).” (‘Effect of aging time, airflow rate, and nonionic surfactants on the surface tension of bulk nanobubbles water’, Bu et Al., 2022)

<sup>10</sup> Detalle en Anexo 5.

opción 1. Sumado a esto, cabe mencionar otro contra de la medición con los instrumentos de la universidad, que, si bien los académicos operadores de los instrumentos tienen alto conocimiento de operar el instrumento, su especialidad no son las nanoburbujas y menos todas las industrias en las que ofrece soluciones una empresa como Kran, por lo que no trae ningún beneficio más allá de los resultados. Diferente es el caso de un operador de instrumento que esté involucrado en la industria y quiera potenciar el uso del instrumento para obtener resultados más precisos e incluso poder estar en contacto con los fabricantes de los instrumentos, para estar al tanto de innovaciones y aprender constantemente de ellos.

Luego, analizando los costos, las opciones 2 y 3 son dos quintos y un quinto, de la opción 1 respectivamente. Según estos criterios, se dejará fuera la opción de utilizar los instrumentos de la Universidad de Chile.

Tipo de caracterización	Número de muestras a medir	Criterios	Opción 1: Uso instrumentos UChile	Opción 2: Compra instrumentos Malvern	Opción 3: Compra instrumento Particle Metrix
Parcial 1 equipo	81	Tiempo	2	1	1
		Costo fijo	\$0,0	\$171,6	\$73,1
		Costo variable	\$5,2	\$0,5	\$0,5
		<b>Costo total</b>	<b>\$5,2</b>	<b>\$172,1</b>	<b>\$73,6</b>
Completa 1 equipo	972	Tiempo	16	4	4
		Costo fijo	\$0,0	\$171,6	\$73,1
		Costo variable	\$59,0	\$4,2	\$4,2
		<b>Costo total</b>	<b>\$59,0</b>	<b>\$175,8</b>	<b>\$77,3</b>
Completa 9 equipos	8748	Tiempo	137	35	35
		Costo fijo	\$0,0	\$171,6	\$73,1
		Costo variable	\$529,0	\$37,9	\$37,9
		<b>Costo total</b>	<b>\$529,0</b>	<b>\$209,5</b>	<b>\$111,0</b>

Tabla 1: Tres posibles opciones para llevar a cabo la solución. Tiempo en semanas y costos en millones de clp. Elaboración propia.

Las opciones restantes sería la compra de instrumentos. Para la caracterización completa, el costo total con los instrumentos Malvern es aproximadamente el doble del costo con el de Particle Metrix. Solamente con el criterio de costo, ya se podría tomar una decisión, sin embargo, se analizará ciertas características de los instrumentos.

Con ambos instrumentos de Malvern, se puede obtener distribución de tamaño, concentración y potencial Z de nanopartículas, a partir de dos muestras, siendo los parámetros deseados para completar las caracterizaciones como se puede ver en la tabla 2. El instrumento de Particle Metrix puede medir los mismos tres parámetros, a



partir de una misma muestra. Si se quiere ver la relación entre los parámetros, debiese haber mayor representatividad midiendo desde una misma muestra. Además, la compañía alemana asegura mediciones más simples y rápidas en comparación a su competencia.

En una investigación<sup>11</sup> se comparó el desempeño de los instrumentos de ambas compañías, donde se determinó que el instrumento de Particle Metrix era más consistente con los resultados de concentración, respecto al instrumento de Malvern, “% BIAS range: 2.7–8.5” y “% BIAS range: 32.9–36.8”, respectivamente. En Kran se ha tenido experiencias similares al medir con el instrumento Nanosight de Malvern, con casos sobre hasta 100% de diferencia de partículas entre una muestra y otra, lo que complejiza el análisis al comparar los resultados obtenidos. De momento se ha tenido solo una experiencia midiendo con el instrumento de Particle Metrix, lo que podría no ser tan significativo, en aquella ocasión se notó mayor consistencia entre los triplicados de diferentes muestras.

## Desarrollo

Para realizar una caracterización de los equipos, hay que entender los rangos en los que puede funcionar cada equipo en las diferentes aplicaciones y así definir qué combinaciones son las que se quiere caracterizar. En la tabla 2, se puede ver todas las combinaciones de ajustes que se ha determinado para una caracterización parcial. Son parámetros que suelen variar en cada proyecto, según las características del proceso del cliente, Kran tiene que adaptarse con sus equipos a tal funcionamiento, para así cumplir con el objetivo de mejorar el proceso.

Por protocolo acordado internamente, para obtener resultados más representativos, para cada instrumento de medición se toma triplicado de muestras. A partir de la tabla 2, se armó la tabla 1 para simular y evaluar diferentes casos, en esta tabla, con el producto del número de variaciones de cada parámetro, se obtiene el total de pruebas que se quiere realizar. En el caso de una caracterización parcial de un equipo, se requeriría un total de 27 pruebas a realizar y 81 muestras a medir por instrumento. Luego, se agregó 4 tipos de gases y 3 diferenciales de presión, alcanzando un total de 972 muestras para este segundo caso, que representaría una caracterización completa de un equipo. Finalmente se consideró la caracterización de los 9 diferentes equipos que actualmente tiene Kran, sumando un total de 8748 muestras.

---

<sup>11</sup> “ZetaView provided a more accurate and repeatable depiction of EV concentration, whereas NanoSight NS300 supplied size measurements of higher resolution.” (‘Extracellular vesicle measurements with nanoparticle tracking analysis – An accuracy and repeatability comparison between NanoSight NS300 and ZetaView’, Bachurski et Al., 2019)



Diferencial de presión:		$\Delta P$				
Tipo de gas:		Oxígeno				
Presión gas [bar]	Caudal bomba [lts/min]	Caudal gas [lts/min]	Concentración nanoburbujas [ $\times 10^8$ /mL]	Potencial Z [mV]	Diámetro [nm]	Consumo energético [kWh]
Presión 1	Caudal bomba 1	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
	Caudal bomba 2	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
	Caudal bomba 3	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
Presión 2	Caudal bomba 1	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
	Caudal bomba 2	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
	Caudal bomba 3	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
Presión 3	Caudal bomba 1	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
	Caudal bomba 2	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				
	Caudal bomba 3	Caudal gas 1				
		Caudal gas 2				
		Caudal gas 3				

Tabla 2: Caracterización tipo que se quiere elaborar, para un equipo específico, un diferencial de presión, un tipo de gas y un tipo de agua. Elaboración propia.

Parámetro variable	# variaciones Caracterización parcial 1 equipo	# variaciones Caracterización completa 1 equipo	# variaciones Caracterización completa 9 equipos
Equipos	1	1	9
Caudales bomba	3	3	3
Caudales gas	3	3	3
Presiones gas	3	3	3
Diferencial de presión	1	3	3
Tipos de gas	1	4	4
<b>Total pruebas</b>	<b>27</b>	<b>324</b>	<b>924</b>
<b>Muestras/instrumento</b>	<b>81</b>	<b>972</b>	<b>8748</b>

Tabla 3: Contador de parámetros variados en la tabla 2, para determinar el número total de pruebas a realizar. Elaboración propia.

En la figura 4 se puede observar un diagrama de flujo de lo que consiste la toma de muestras y medición con instrumentos. Los valores utilizados fueron obtenidos en ocasiones anteriores que se han tomado muestras. La capacidad de medición de muestras por instrumento propio fue la única extrapolada a partir de la capacidad de medición de muestras de los operadores de la Universidad de Chile, que es de 8 muestras/hora.

Ahora bien, la información relevante que entrega este diagrama se puede ver en las capacidades que tienen un marco rojo, realización de pruebas y medición de muestras. Aquí se puede apreciar que, midiendo con los instrumentos de la universidad se genera un cuello de botella en la capacidad de medición de muestras, lo que hace más lento el proceso. El punto interesante está en poseer un instrumento propio, aquí el proceso ya no se ve limitado por la capacidad de medición de muestras, si no, más bien por la capacidad de obtención de muestras a través de la capacidad de pruebas que se puede realizar.

La capacidad con instrumento propio de muestras por semana aumentaría aproximadamente en 4 veces, entre otros beneficios de tiempo que se pueden observar en el diagrama, como el tiempo de llevar las muestras al instrumento, obtención de resultados y otros.

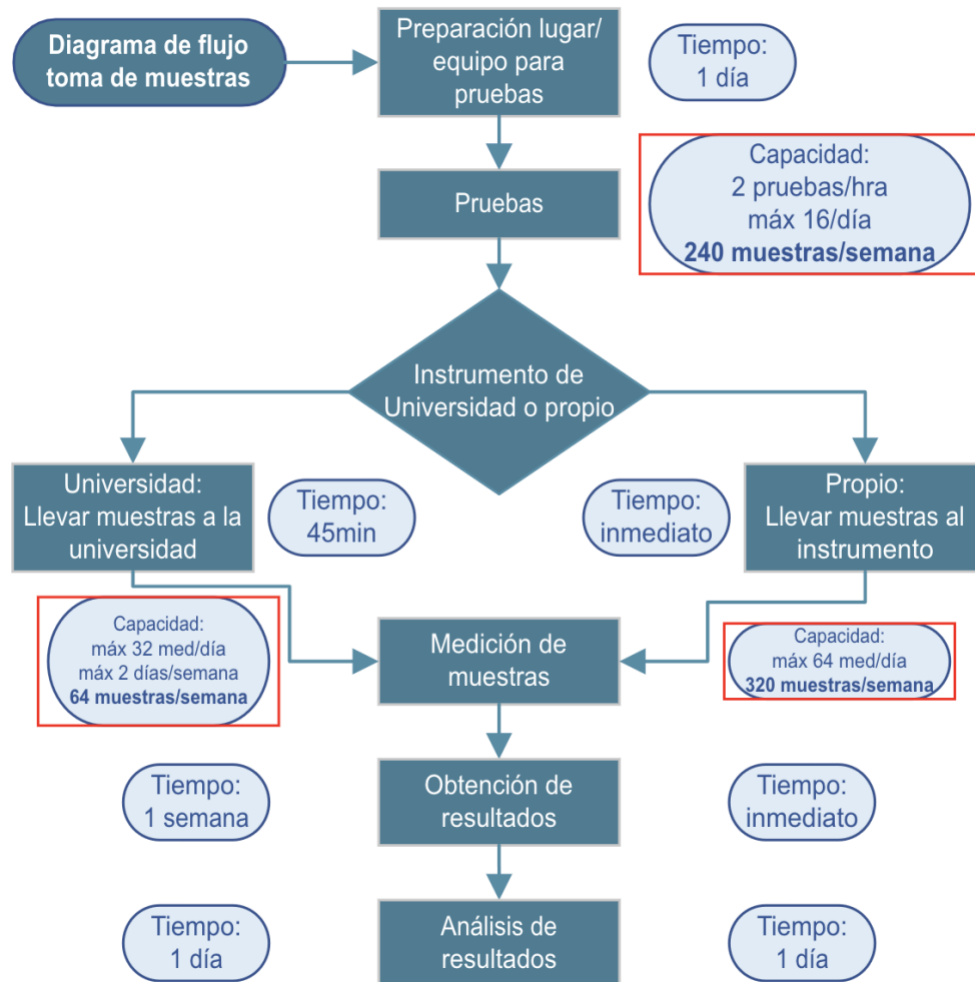


Figura 4: Diagrama de flujo tipo para toma de muestras. Elaboración propia

A modo de resumen y visualización rápida de la información recopilada en el desarrollo del proyecto, en la figura 5 se puede ver un análisis FODA que se elaboró de la solución escogida. El análisis FODA presentado identifica como fortalezas la flexibilidad y la capacidad de mediciones personalizables e inmediatas, mientras que señala como debilidades la alta sensibilidad y dependencia de un solo instrumento. Las oportunidades se centran en la mejora y profundización de los métodos actuales y la posibilidad de investigación adicional. Las amenazas incluyen posibilidades de lanzamiento de nuevos instrumentos más eficientes por competidores y la obsolescencia tecnológica. Este análisis proporciona una visión estratégica esencial para la planificación y la toma de decisiones en el transcurso del proyecto.



Figura 5: Análisis FODA sobre la solución escogida de la compra de un instrumento para la caracterización de los equipos generadores de nanoburbujas de Kran. Elaboración propia.

## Medidas de desempeño

- Tasa de conversión de proyectos:  $\frac{\text{Cierres ganados}}{\text{Total proyectos ingresados}}$
- Capacidad de medición de muestras con instrumentos:  $\frac{\text{Número de muestras}}{\text{Tiempo requerido}}$
- Capacidad de generación de muestras:  $\frac{\text{Número de muestras}}{\text{Tiempo requerido}}$
- Capacidad de caracterización:  $\frac{\text{Caracterización de un equipo}}{\text{Tiempo requerido}}$

## Plan de implementación del proyecto

1. Evaluación y selección del instrumento: Revisar y seleccionar el mejor instrumento de medición de nanoburbujas, basándose en las especificaciones técnicas y costo.
2. Adquisición y configuración: Compra del instrumento, instalación y configuración en el entorno de trabajo.
3. Capacitación del personal: Entrenar al personal en cuanto a uso adecuado y mantenimiento requerido del nuevo instrumento.
4. Pruebas iniciales: Realizar pruebas para calibrar el equipo y asegurar su correcto funcionamiento.
5. Implementación operativa: Comenzar la operación de caracterización de los equipos Kran.
6. Monitoreo y evaluación: Supervisar continuamente el rendimiento del instrumento, datos obtenidos y su impacto en las etapas críticas del área I+D y en la tasa de conversión de proyectos.

## Matriz de riesgos

En la tabla 8, se puede ver la matriz de riesgos que se elaboró, con el fin de evaluar los riesgos que pueda haber al momento de la implementación del proyecto, cada uno con su respectiva mitigación. De esta manera, se espera reducir los imprevistos que pudiesen surgir y complejizar el desarrollo del proyecto.

Riesgo	Probabilidad	Impacto	Ponderación	Clasificación	Mitigación
Financiamiento	3	3	9	Alto	Evaluación económica sólida que permita validar viabilidad del proyecto
Mal uso del instrumento	3	3	9	Alto	Capacitación de personal y estandarización de toma de muestras y medición
Espacio designado inadecuado	2	3	6	Medio	Determinar espacio especial que no entorpezca ni se vea entorpecido

Tabla 8: Matriz de riesgos del proyecto.

## Evaluación económica

Como objetivo general del proyecto, se quiere aumentar el número de “Cierres ganados” estimado al cierre de 2024, de 24 a 30 proyectos, esto quiere decir que el proyecto potencie el cierre de 6 proyectos durante el 2024, acompañado de los beneficios económicos que traería este suceso. Un proyecto tipo del área acuícola, genera aproximadamente \$60 millones de clp, con costos asociados de \$40 millones

de clp aproximadamente, este es de los proyectos grandes de la cartera de Kran, del cual se rescatará ese ratio 3 a 2. Se determinará un “proyecto tipo” más representativo a todos los posibles proyectos, para poder hacer la evaluación con la utilidad mensual que generaría un nuevo “cierre ganado” conseguido con el proyecto de caracterización.

Durante este año se hizo pruebas en el laboratorio de la Universidad de Chile, donde diferentes clientes incurrieran en gastos cerca de \$1 millón de clp cada dos meses por la realización de las pruebas, Kran se encargaba de la logística y el cliente cubría los costos. Este sería otro beneficio que sumaría poseer el instrumento propio, haciendo la logística más simple, dado que las pruebas y mediciones se podrían realizar en Kran. Se considerará ese beneficio en la evaluación, dado que la cantidad de pruebas a petición de clientes es probable que se mantenga o aumente a medida que llegan nuevos proyectos.

Un tercer beneficio que proporcionaría poseer el instrumento, sería la oportunidad de mejora de los proyectos actuales. En estos, el cliente actualmente tiene una disposición a pagar sobre la mejora de un X% que Kran logra en su proceso. Se toma el supuesto de que si esta mejora logra aumentar en un 5%, de la misma manera el cliente estaría dispuesto a pagar 5% más del contrato actual acordado. En la evaluación se considerará que cada 2 meses, se logrará este beneficio con uno de los clientes actuales.

Los costos que se considerará para la evaluación, además de la compra del instrumento por \$73,1 millones de clp, serán principalmente el equivalente de realizar una caracterización de equipo por mes, lo que resulta en un valor aproximado de \$4,2 millones de clp por cada caracterización, valor determinado en el análisis realizado anteriormente.

Para el flujo de caja, se consideró que la compra del instrumento se realizaría en el mes de enero 2024, por lo que el instrumento llegaría a principios de marzo y quedaría listo para comenzar el mismo mes con las caracterizaciones. Se determinó que hay capacidad para realizar una caracterización de equipo por mes, por lo tanto se espera tener todos los meses completada una caracterización de equipo. Los 6 proyectos extra que se tiene como objetivo del proyecto para cerrar el 2024, se consideró que se lograría los cierres en los meses de abril, junio, agosto, octubre, noviembre y diciembre, con la lógica de que a medida que se tengan más caracterizaciones será más rápido el “cierre ganado” de proyectos. En cuanto al beneficio de mejora en los proyectos actuales, se consideró que se realizaría y tendría éxito uno de cada dos meses.<sup>12</sup>

Hay dos variables que permitirán hacer un análisis de sensibilidad sobre la evaluación económica, primero el “proyecto tipo” que se considerará, para determinar el ingreso de este y su utilidad calculada con el ratio de 3 a 2. Luego, el mismo ingreso se utilizará para el cálculo del beneficio de mejora en proyectos actuales. La segunda variable a considerar será la prima por riesgo, con la que se determinará la tasa de descuento que permita evaluar la viabilidad del proyecto.

---

<sup>12</sup> En el anexo 8 se puede encontrar uno de los flujos de caja realizados para su comprensión y análisis en caso de ser requerido.

En la tabla 9 a continuación, se puede observar el análisis de sensibilidad que se realizó. En ella se puede ver los diferentes valores que resultan en los escenarios dados, lo que permite tener una noción del comportamiento de la viabilidad económica del proyecto, según el “proyecto tipo” que se determine más representativo al caso. Con la información que entrega la tabla, es posible ver que el punto de inflexión del proyecto, donde la TIR se vuelve superior a 0, está entre los \$10 y \$15 millones de clp. Esto se logra aproximadamente sobre el valor de \$10,74 millones de clp, es decir si se logra definir que un “proyecto tipo”, básicamente refiriéndose a un proyecto promedio, genere un ingreso mayor o igual al de \$10,74 millones de clp mensuales, el proyecto sería rentable. En caso de que el resto de las consideraciones se cumplan. Es importante considerar que un proyecto de este tipo, más para una tecnología que se está investigando, tiene sus riesgos asociados, por lo tanto hay que tener claro, que prima por riesgo es la que se quiere considerar, esto hará que el VAN de la evaluación tenga cierta variación.

Prima por riesgo	Ingreso proyecto tipo					
	\$10		\$15		\$30	
0,83%	VAN -\$16,6	TIR -1,2%	VAN \$28,4	TIR 5,4%	VAN \$163,3	TIR 17,2%
1,66%	VAN -\$20,8	TIR -1,2%	VAN \$21,2	TIR 5,4%	VAN \$147,4	TIR 17,2%
2,5%	VAN -\$24,7	TIR -1,2%	VAN \$14,7	TIR 5,4%	VAN \$132,7	TIR 17,2%

Tabla 9: Análisis de sensibilidad de la prima por riesgo a considerar e ingreso de proyecto tipo. Los valores monetarios están en \$millones de clp, la prima por riesgo y la TIR calculada son mensuales.<sup>13</sup>

## Resultados

Se evidencia un problema real para dos de las nueve etapas que involucran al área I+D, sugiriéndose que el problema está limitando a Kran en llevar los proyectos desde su ingreso hasta consolidarse como “Cierre ganado”, el gráfico 2 elaborado permite visualizar que en las etapas de “Análisis de Factibilidad” y “Piloto activo” existe una acumulación de proyectos, que retrasa el avance y consolidación de estos. Además, explicadas ambas etapas y sus dinámicas, es evidente que, teniendo mayor conocimiento del desempeño y funcionamiento de los equipos, se lograría acelerar ambos procesos, atacando así a los cuellos de botellas descubiertos.

Como se propuso en la evaluación económica, las mejoras en la tasa de conversión se comenzarían a notar a partir de las primeras caracterizaciones, que vendrían siendo en el período Mar/Abr/May de 2024. Con el objetivo de tener seguimiento de la tasa de conversión de proyectos del objetivo general y las estimaciones realizadas de proyectos ingresados, se volvió a analizar el avance de los proyectos ingresados en el ciclo comercial, representado en el gráfico 4. Donde

<sup>13</sup> La tasa de descuento considerada es la suma de la prima por riesgo y la TPM de Chile ( $\approx$ TLR)



se había proyectado que habría 338 proyectos ingresados, siendo que hubo 326, un 3,8% bajo lo estimado. De la misma manera siguiendo la tasa de conversión de 5%, se proyectó 17 proyectos consolidados para los 338 proyectos ingresados, sin embargo, hubo 18 para los 326 proyectos, lo que se traduce en una tasa de conversión de 5,5%. Este aumento en la tasa de conversión no fue previsto, dado que la caracterización comenzará una vez se tenga el instrumento, pero tiene explicación lógica, dado que la empresa está constantemente buscando mejoras e implementándolas, traduciéndose en procesos más eficientes. Esto claramente dificultará analizar qué resultados se atribuirán al proyecto de caracterización de equipos, lo que implicará tener en consideración que otras mejoras se estén implementando y la búsqueda de formas para medir sus efectos e impactos para los diferentes procesos de la empresa.

El gráfico 4 permite revalidar que las etapas de “Análisis de Factibilidad” y “Piloto activo” son los cuellos de botella críticos dentro de las etapas del área de I+D, dada la acumulación de proyectos en ellos.

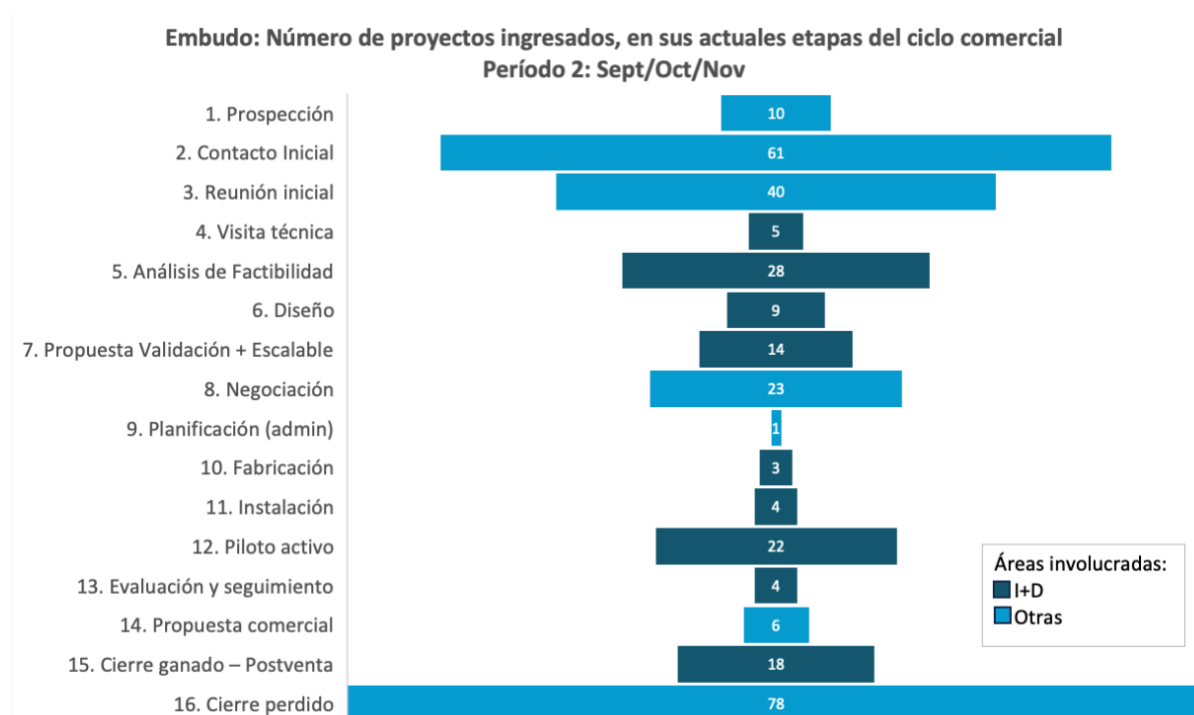


Gráfico 4: Avance de etapas del ciclo comercial representado gráficamente por etapa; evidencia de embudo. Período 2 analizado, tres meses después del primer análisis. Elaboración propia.

Desarrollándose el proyecto, se estima que los beneficios que traiga la solución propuesta mejorarían la situación pronosticada sin proyecto, dada las mejoras en la capacidad de convertir proyectos. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los resultados pueden no ser inmediatos y presenten nuevos desafíos para la empresa. De todos modos, como asegura Vogt<sup>14</sup>, entre otros, las inversiones en I+D son clave para el desarrollo y crecimiento robusto de una empresa.

<sup>14</sup> <https://blog.vogt.cl/2023/03/28/en-vogt-tenemos-un-banco-de-ensayo-unico-en-chile/>

En el desarrollo se concluyó que realizar mediciones con universidades no es una buena opción. Si bien puede ser cómodo y fácil tercerizar el proceso de caracterización, tiene ciertas desventajas mencionadas, además, al tener cada medición un costo asociado, no permite espacio para errores y si se cambiase el método de generación utilizado habría que volver a incurrir en el costo, si se quiere volver a realizar una caracterización. Por lo tanto, la solución sugerida es la compra y uso de un instrumento propio, para la cual se realizó una evaluación económica que evidencia formas existentes de financiar la compra de un instrumento de medición. Incluso, si no se quiere incurrir a la inversión asociada a un instrumento nuevo, Particle Metrix ofreció la opción de un instrumento antiguo y usado a un precio aproximado de \$40 millones de clp.

## Conclusiones y discusión

Se espera que la iniciativa resulte en un incremento en los proyectos consolidados año tras año. Esta mejora no solo es un indicador clave de éxito comercial, sino que también refleja una mayor comprensión y eficiencia en el uso de los equipos generadores de nanoburbujas de Kran, lo que permitirá investigar y desarrollar más y mejores soluciones.

Se ha identificado que, en la actualidad, la capacidad de procesar proyectos es limitada y depende significativamente del número de personal disponible. Por lo tanto, la implementación de soluciones que permitan agilizar operaciones y procesos es fundamental. La falta de acción en este aspecto podría resultar en riesgos y situaciones adversas con los clientes, afectando potencialmente la reputación de Kran.

Por otro lado, se ha observado que la consistencia en las mediciones realizadas con los instrumentos actuales, como el “Nanosight NS300”, “Zetasizer ZS” y el “Zetaview” de Particle Metrix, presenta ciertas inconsistencias. En la tabla 10, se puede observar resultados que se obtuvo en pruebas que se midieron en el laboratorio de la Universidad de Chile con el instrumento NS300 de Malvern. Cada solución tuvo su triplicado de muestras para cada instante que se midió. A partir de esta tabla ya se puede notar inconsistencia en los resultados, ahora bien, los resultados de las tres muestras de la solución 1 y día 1 son:  $2.9 \times 10^8$ ,  $5.9 \times 10^8$  y  $4.5 \times 10^8$ . Estos resultados con una variación de hasta 100% no son confiables.

Solución	Diferencia % respecto a concentración de muestra control		
	1	2	3
Día 1	84,2%	77,9%	203,8%
Semana 2	38,1%	-1,0%	-97,3%
Semana 2 + 3 días	-35,2%	448,0%	-97,8%

Tabla 10: Pruebas con Nanosight NS300 en laboratorio Universidad de Chile, octubre. Elaboración propia.

Respecto al instrumento de Particle Metrix se notó bastante consistencia, donde se midió hasta 6 muestras iguales en reiteradas ocasiones y los resultados no superaban una variación mayor al 30%, entre los extremos.

Es importante destacar que la adquisición de un nuevo instrumento de medición no solo permitirá un mejor entendimiento y mejora del funcionamiento de los actuales equipos generadores de nanoburbujas de Kran, sino que también abordará la variabilidad y complejidad inherente de los sistemas en diferentes aplicaciones. Se sugiere realizar constantemente una revisión de otros métodos de generación, donde la adquisición de un instrumento de medición será vital para comparar desempeños y encontrar soluciones que se adapten a las condiciones específicas requeridas.

Estos resultados sugieren que Kran podría estar a la vanguardia en la industria de las nanoburbujas, no solo a nivel nacional sino también global, al ser uno de los pioneros en establecer una caracterización estándar para esta tecnología. La decisión de avanzar con la adquisición de este instrumento no solo mejorará la eficiencia operativa de la empresa, sino que también fortalecerá su posición competitiva en el mercado.

## Anexo

### 1) ODSs

#### 2. Hambre cero

**2.4** Para 2030, asegurar la sostenibilidad de los sistemas de producción de alimentos y aplicar prácticas agrícolas resilientes que aumenten la productividad y la producción, contribuyan al mantenimiento de los ecosistemas, fortalezcan la capacidad de adaptación al cambio climático, los fenómenos meteorológicos extremos, las sequías, las inundaciones y otros desastres, y mejoren progresivamente la calidad del suelo y la tierra

- Reducir uso de agua en agricultura; aumentar el calibre de frutos; mejorar sanidad y duración de cítricos post-cosecha; mantener frescos productos acuícolas por mayor tiempo, asegurando calidad recibida por cliente final

#### 6. Agua limpia y saneamiento

**6.4** De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua

- Mejoras en plantas de tratamiento de aguas

#### 8. Trabajo decente y crecimiento económico

**8.4** Mejorar progresivamente, de aquí a 2030, la producción y el consumo eficientes de los recursos mundiales y procurar desvincular el crecimiento económico de la degradación del medio ambiente, conforme al Marco Decenal de Programas sobre modalidades de Consumo y Producción Sostenibles, empezando por los países desarrollados

- Mantener o mejorar producción con menor uso de recursos

#### 9. Industria, innovación e infraestructura

**9.4** De aquí a 2030, modernizar la infraestructura y reconvertir las industrias para que sean sostenibles, utilizando los recursos con mayor eficacia y promoviendo la adopción de tecnologías y procesos industriales limpios y ambientalmente racionales, y logrando que todos los países tomen medidas de acuerdo con sus capacidades respectivas

- Integrar tecnología de nanoburbujas en procesos de diferentes industrias para mejorar sus procesos

#### 12. Producción y consumo responsables

**12.2** De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales

**12.4** De aquí a 2020, lograr la gestión ecológicamente racional de los productos químicos y de todos los desechos a lo largo de su ciclo de vida, de conformidad con los marcos internacionales convenidos, y reducir significativamente su liberación a la atmósfera, el agua y el suelo a fin de minimizar sus efectos adversos en la salud humana y el medio ambiente

- Uso eficiente de agua y reducción de químicos

14. Vida submarina

**14.2** De aquí a 2020, gestionar y proteger sosteniblemente los ecosistemas marinos y costeros para evitar efectos adversos importantes, incluso fortaleciendo su resiliencia, y adoptar medidas para restaurarlos a fin de restablecer la salud y la productividad de los océanos

- Remediación de fondos marinos

15. Vida de ecosistemas terrestres

**15.8** Para 2020, adoptar medidas para prevenir la introducción de especies exóticas invasoras y reducir de forma significativa sus efectos en los ecosistemas terrestres y acuáticos y controlar o erradicar las especies prioritarias

- Control de algas en tranques agrícolas, lagunas y lagos

2) Crecimiento potencial de la forma  $y = a \cdot x^b$ , donde 'a' representa la tasa de crecimiento y 'b' describe la naturaleza de crecimiento (lineal, cuadrático, cúbico, etc.), si  $b > 1$  implica un crecimiento acelerado, mientras que si  $b < 1$  indica un crecimiento desacelerado, en el caso  $b = 1$  se trata de una función lineal y si  $b = 0$ , no hay crecimiento alguno.

3) En la columna de 'Proyectos' se tiene los datos reales a la fecha. Luego para 'Estimación', se utilizó la ecuación  $y = 4,2739 \cdot x^{2,6363}$  obtenida en Microsoft Excel a partir de la línea de tendencia, para estimar el número de proyectos ingresados en los próximos años. Junto a la estimación de cada año se determinó un intervalo inferior y superior, este con un error arbitrario de 10%, para representar gráficamente que una estimación tiene incertidumbre. Esta incertidumbre debiese aumentar cada vez que se quiere estimar más allá del período siguiente, por lo que se utilizó las siguientes fórmulas:

$$\text{Intervalo inferior}_{\text{Año } n} = \text{Estimación}_{\text{Año } n} \times (1 - \text{Error})^{\text{Año predicción}}$$

$$\text{Intervalo superior}_{\text{Año } n} = \text{Estimación}_{\text{Año } n} \times (1 + \text{Error})^{\text{Año predicción}}$$

De esta manera el rango de escenarios posibles cada vez se va haciendo más grande a medida que se quiera estimar a más años.

Año #	Año predicción	Proyectos	Estimación	Intervalo inf	Intervalo sup
1		4			
2		30			
3		80			
4		150			
5		300			
6	1		481	433	529
7	2		722	585	874
8	3		1027	749	1367
9	4		1401	919	2051

4) Ficha técnica de los equipos, falta equipo nuevo K1200.

	CARACTERÍSTICAS	MODELO							
		K6	K25	K50	K100	K150	K200	K400	K500
Flujo de líquido	Caudal de operación [L/min]	6 - 10	25 - 35	50 - 75	100 - 200	150 - 300	200- 400	400 - 600	500 - 750
	Presión de operación [bar]	1,5 - 2,0	1,5 - 3,0	1,5 - 3,0	1,5 - 6,0	1,5 - 6,0	1,5 - 6,0	1,5 - 6,0	1,5 - 6,0
	Potencia bombeo [kW]*	0,12 - 0,37	0,37 - 0,75	0,37 - 1,10	0,75 - 1,5	2,2 - 5,5	2,2 - 5,5	5,5 - 7,5	5,5 - 7,5
Flujo de gas	Rango flujómetro [NL/min]**	0,03 - 0,30	0,1 - 1,0	0,1 - 1,0	1 - 5	1 - 5	1 - 5	3 - 15	3 - 15
	Presión máxima de trabajo [bar]	6							
Materiales y conexiones	Chasis	Acero Inoxidable AISI 304							
	Conexiones hidráulicas	1/2" BSP	1/2" BSP	2" BSP - 3/4" BSP	1 1/2" BSP	2" BSP	2" BSP	2 1/2" BSP	2 1/2" BSP
	Entrada de gas	1/4" BSP	1/4" BSP	1/4" BSP	1/2" BSP	1/2" BSP	1/2" BSP	1/2" BSP	1/2" BSP
Dimensiones equipo	Alto [mm]	235	235	283	373	420	420	506	506
	Ancho [mm]	190	190	235	280	280	280	316	316
	Largo [mm]	331	331	449	699	775	775	1150	1150
	Peso [kg]	7,6	6,9	11,5	21,5	30,0	30,0	60,6	60,6

\* Potencia referencial con bomba centrífuga / para selección se debe considerar caudal y presión requerida.

\*\* Escala de O2 en condiciones estándar 20°C y 1 atm.



5)

En la tabla a continuación, se pueden ver los costos por muestra medida asociados a cada instrumento, la capacidad diaria de medición por el operador, esto basado en mediciones que se han realizado anteriormente. Los operadores suelen tener una agenda ocupada, por lo que es ideal contactarlos con tiempo, para poder coordinar los días para realizar las mediciones. Una y a lo más dos veces a la semana, es la disponibilidad que suelen tener. Es importante tener claro que son académicos y que el instrumento no está dispuesto solamente para hacer mediciones a empresas privadas, por esto, la factibilidad de reservar una semana completa para realizar pruebas es casi nula.

Instrumentos disponibles	Costo [UF/muestra]	Capacidad diaria [muestras/día]
Nanosight NS300	1	32
Zetasizer ZS	0,5	

Tabla: Datos de instrumentos disponibles en la Universidad de Chile, con sus costos por muestra y capacidad de medición diaria. Elaboración propia.

7)

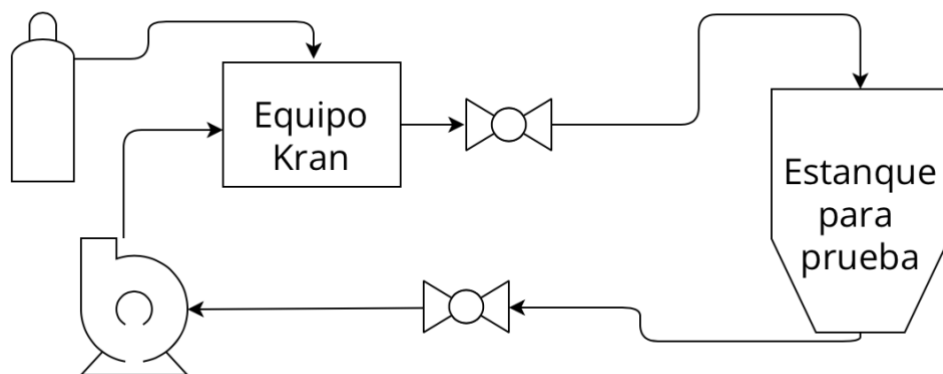


Diagrama P&ID básico para representar componentes necesarios para pruebas.

La prueba consiste en recircular el volumen del estanco a través del equipo Kran, inyectando cierto gas a una presión y flujo deseados, por un tiempo determinado. Una vez finalizada la prueba se toman las muestras

## 30

[illegible]