

Universidad Nacional de Ingeniería

Facultad de Ingeniería Química y Textil



TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

“Diseño de controladores para el manejo de las operaciones industriales”

Para obtener el título profesional de Ingeniero Químico.

Elaborado por

Diana Elizabeth Rojas Carbajal

 [0009-0008-3288-1232](https://orcid.org/0009-0008-3288-1232)

Asesora

Dra. Magali Camila Vivas Cuellar

 [0000-0003-0880-2078](https://orcid.org/0000-0003-0880-2078)

TOMO I DE I

LIMA - PERÚ

2024

Citar / How to cite	Rojas Carbajal [1]
Referencia / Reference	[1] D. Rojas Carbajal, “ <i>Diseño de controladores para el manejo de las operaciones industriales</i> ” [Informe de suficiencia profesional]. Lima (Perú): Universidad Nacional de Ingeniería, 2024.
Estilo/Style: IEEE (2020)	

Citar/How to cite	(Rojas, 2024)
Referencia/Reference	Rojas, D. (2024). <i>Diseño de controladores para el manejo de las operaciones industriales</i> . [Informe de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingeniería]. Repositorio institucional Cybertesis UNI.
Estilo/Style: APA (7ma ed.)	

Dedicatoria

Dedicado a Matías, mi hijo, quién siempre me inspira a ser una mejor persona y profesional. A mis papás, Arturo y Elizabeth, por su amor, su ejemplo y su apoyo incondicional. A César, mi compañero de vida, por ser mi fortaleza en los momentos difíciles y a mi hermano Paúl, por seguir demostrándome que todo es posible.

Agradecimientos

A Dios por permitirme cumplir mis metas y estudiar en esta prestigiosa universidad, donde pude tener gratas vivencias. A mis apreciados docentes de la Facultad de Ingeniería Química y Textil les expreso mi más profundo respeto y reconocimiento por compartir su invaluable conocimiento y dedicación. De manera especial, quiero agradecer a mi estimada asesora, la Ing. Magali Vivas, por su constante su apoyo y disposición por ayudarme.

Resumen

En la industria química se desarrollan múltiples operaciones industriales, las cuales requieren ser optimizadas para maximizar la eficiencia, asegurar que el proceso permanezca dentro de los límites de seguridad predefinidos, reducir la variabilidad del producto final, reducir el impacto ambiental, entre otros objetivos; por lo cual, se han desarrollado múltiples investigaciones para implementar un control efectivo de dichas operaciones industriales.

El aumento notable en la necesidad de agua apta para el consumo humano y su inminente escasez en los próximos años, a causa de la existencia limitada de agua dulce, genera una problemática que puede encontrar una alternativa de solución viable si se aprovechan las vastas reservas de agua marina para obtener agua para múltiples propósitos, mediante la desalación por ósmosis inversa. Este proceso se caracteriza por utilizar variables de control como la cantidad y la conducción de la corriente eléctrica del permeado, que sirven para analizar las características del agua obtenida, y se establecen como variables manipuladas del agua a su ingreso, al pH y a la presión. El control automático cuando se desarrolla la tecnología de ósmosis inversa utiliza controladores óptimos que permiten obtener agua que cumpla con las condiciones establecidas de conductividad y con la producción requerida, bajo diferentes condiciones de operación.

Actualmente, en Perú se cuenta con una planta desarrollada en pos de obtener agua potable a través del proyecto Provisur, que se encarga del sistema de saneamiento para las poblaciones de Lima Sur, con una producción máxima de 34560 m³/día; por ello, se considera que la técnica para eliminar la sal del agua de mar mediante ósmosis inversa es una tecnología emergente y da lugar a que los aspectos del control de estas operaciones tengan gran importancia y sean objeto de investigaciones. La incorporación de un control eficiente para este proceso se basa en los siguientes fundamentos técnicos: caracterización y reconocimiento de la dinámica de funcionamiento de un sistema de ósmosis inversa, diseño de controladores adecuados a cada condición de operación, simulaciones que reflejen el proceso real, implementación práctica de los controladores diseñados y adaptabilidad frente a los diversos escenarios de operación.

A lo largo del presente informe se van a considerar modelos matemáticos para la caracterización de una unidad de ósmosis inversa además del diseño de sistemas de control óptimos para este proceso. Todo ello con el fin de facilitar una visión adecuada durante el diseño de controladores para el manejo de operaciones industriales.

Palabras clave – Diseño de controladores, ósmosis inversa, control automático, desalinización.

Abstract

In the chemical industry, multiple industrial operations are developed, which need to be optimized to increase efficiency, ensure that the process remains within predefined safety limits, reduce the variability of the final product, reduce environmental impact, among other objectives; therefore, multiple investigations have been developed to implement an effective control of said industrial operations.

The notable increase in the necessity of having access to safe drinking water and its imminent scarcity in the coming years, due to limited existence of fresh water reserves, generates a problem that can find a viable alternative solution if the vast reserves of seawater are used to obtain water suitable for various uses, by removing salts using reverse osmosis technology. This process is characterized by using control variables such as the quantity and the análisis of permeate conductivity are employed to characterize the properties of the produced water and are established as manipulated variables at pH and pressure of the inlet water. The automatic control of reverse osmosis using optimal controllers allows obtaining water that meets the established conductivity conditions and the required production, under different operating conditions.

Currently, in Peru there is a plant for obtaining drinking water developed through the Provisur Project, which is responsible for the management of the sanitation system serving the southern Lima population, with a maximum production of 34560 m³/day; for this reason, this is the technique to remove salt from seawater through reverse osmosis is an emerging technology and gives rise to the control aspects of these operations being of great importance and being the subject of investigations. The incorporation of an efficient control system in this process is based on the following technical foundations: characterization and recognition of the operating dynamics of a reverse osmosis module, design of controllers appropriate for each operating condition, simulations that reflect the real process, practical implementation of the designed controllers, and adaptability to various operating scenarios.

Throughout this report, mathematical models will be considered for the purpose of identifying a suitable reverse osmosis unit and to the design of optimal control systems for this process. All this in order to facilitate an adequate vision during the engineering of control solutions for industrial operations.

Keywords – Controller design, reverse osmosis, automatic control, desalination.

Tabla de Contenido

	Pág.
Resumen	iii
Abstract	iv
CAPÍTULO I. DATOS GENERALES DE LAS EMPRESAS	1
1.1. Actividad principal	1
1.2. Sector industrial al que pertenecen	1
1.3. Líneas de productos	2
1.4. Filosofía administrativa	3
1.4.1. Visión	3
1.4.2. Misión.....	3
1.4.3. Valores.....	4
1.4.4. Políticas	4
1.5. Cultura organizacional	6
1.6. Estructura funcional de la empresa Representaciones Techlab	6
1.7. Normatividad empresarial.....	8
1.8. Principios de calidad	8
1.9. Sistema de seguridad industrial	8
1.10. Gestión de impactos ambientales.....	10
CAPITULO II. CARGOS Y FUNCIONES.....	12
2.1. Contexto laboral.....	12
2.2. Cargos y funciones dentro de las organizaciones	12
2.3. Responsabilidades señaladas en el manual de organización y funciones	20
2.4. Personal a cargo y sus responsabilidades (Representaciones Techlab)	23
2.5. Función ejecutiva y/o administrativa adicional	25
2.6. Cronograma de realización de las actividades	26

CAPITULO III. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD TÉCNICA Y APLICACIÓN PROFESIONAL 30

3.1.	Contexto laboral en el área de trabajo	30
3.1.1.	Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar	30
3.1.2.	Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones.....	30
3.1.3.	Participación en actividades complementarias	32
3.1.3.1.	Actividades de investigación o innovación realizadas como Bachiller.....	32
3.1.3.2.	Participación en unidades o grupos de seguridad industrial.....	33
3.1.3.3.	Actividades de Representación de la Empresa	33
3.1.3.4.	Otras actividades complementarias	34
3.2.	Hechos relevantes de la actividad técnica.....	35
3.2.1	Descripción de la realidad problemática.....	35
3.2.2	Definición del problema general y secundarios.....	36
3.2.3	Justificación e importancia	36
3.2.4	Antecedentes referenciales nacionales e internacionales.....	37
3.2.5	Objetivo general y específicos	42
i.	Objetivo general.....	42
ii.	Objetivos específicos	42
3.3.	Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos.....	42
3.3.1	Sistema.....	44
3.3.2	Sistemas de control	45
3.3.2.1	Sistemas de control en lazo abierto.....	45
3.3.2.2	Sistema de control en lazo cerrado	46
3.3.3	Diagrama de bloques	46
3.3.4	Controlador proporcional (P).....	47

3.3.5	Controlador proporcional + integral (PI)	48
3.3.6	Control proporcional + derivativo (PD).....	48
3.3.7	Control proporcional + integral + derivativo (PID).....	49
3.3.8	Sintonización de controladores	49
3.3.9	Estabilidad de sistemas	50
3.3.10	Criterio de estabilidad de Routh Hurwitz	50
3.3.11	Sistemas multivariables	51
3.3.12	Criterio de desempeño de un sistema de control	52
3.3.13	Desalinización.....	53
3.3.14	Ósmosis Inversa.....	55
3.4	Propuesta y contribuciones	56
3.4.1	Objetivos y justificación del uso de las técnicas propuestas.....	56
3.4.2	Cálculo y determinaciones de indicadores de gestión para evaluar y monitorear la propuesta.....	57
3.4.2.1	Selección de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa	57
3.4.2.2	Diseño del controlador.....	59
3.4.2.3	Análisis de desempeño.....	64
3.4.3	Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta de solución	65
3.4.3.1	Selección de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa	65
3.4.3.2	Diseño del controlador.....	66
3.4.3.3	Análisis de desempeño.....	67
3.4.4	Evaluaciones y decisiones tomadas	67
3.4.4.1	Selección de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversa	67
3.4.4.2	Diseño del controlador.....	67
3.4.4.3	Análisis de desempeño.....	68

3.4.5	Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos, presentados como resultado de las actividades realizadas	68
3.4.5.1	Selección de la planta desalinizadora de agua de mar por ósmosis inversas...	68
3.4.5.2	Diseño del controlador	70
3.4.5.3	Análisis de desempeño.....	70
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS E IMPLICANCIAS		71
4.1	Contribuciones al desarrollo de la empresa.....	71
4.2	Impacto de la propuesta.....	71
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		73
5.1	Conclusiones.....	73
5.2	Recomendaciones	73
CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		75
Anexos		77

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1: Función ejecutiva y/o administrativa de Representaciones Techlab.....	26
Tabla 2: Cronograma de realización de actividades como bachiller	28
Tabla 3: Función ejecutiva y/o administrativa de Representaciones Techlab.....	34
Tabla 4: Relación de parámetros para sintonización de controlador PID	50
Tabla 5: Tabla de Routh	51
Tabla 6: Clasificación de los procesos de desalinización.....	54
Tabla 7: Valores de los criterios de desempeño para el lazo Gp11	65
Tabla 8: Valores de los criterios de desempeño para el lazo Gp22.....	65
Tabla 9: Formato para toma de datos para la curva estática.....	68
Tabla 10: Formato para toma de datos para experimento con señal escalón	69
Tabla 11: Formato para cálculo de parámetros del controlador PID.....	70
Tabla 12:Valores de los criterios de desempeño para el lazo de control.....	70

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1: Representaciones Techlab	1
Figura 2: Organigrama funcional Representaciones Techlab.....	7
Figura 3: Certificado de trabajo en Representaciones Techlab	14
Figura 4: Certificado de trabajo en Representaciones Techlab	15
Figura 5: Anverso del título de magíster obtenido como investigadora becada Concytec..	16
Figura 6: Reverso del título de magíster obtenido como investigadora becada Concytec ..	17
Figura 7: Certificado de trabajo en Universidad Privada del Norte	18
Figura 8: Certificado de trabajo en Universidad Privada del Norte	19
Figura 9: Organigrama del área de aplicaciones químicas	23
Figura 10: Ejemplo de control de nivel de líquido y caudal usado en la antigüedad	37
Figura 11: El control y optimización se pueden abordar desde todos los niveles de la empresa.....	38
Figura 12: Sala típica de control.....	40
Figura 13: Instrumentos de medición y control.....	43
Figura 14: Ejemplos de Controlador Lógico Programable (PLC).....	43
Figura 15: Sensores industriales	44
Figura 16: Esquema general de un sistema	45
Figura 17: Sistema de control en lazo abierto	46
Figura 18: Sistema de control en lazo cerrado	46
Figura 19: Elemento del diagrama de bloques	46
Figura 20: Sistema de control en lazo cerrado usando diagrama de bloques	47
Figura 21: Funciones de transferencia que intervienen en un lazo de control por retroalimentación	47

Figura 22: Representación del controlador PID	49
Figura 23: Representación de un sistema multivariable mediante diagrama de bloques	51
Figura 24: Representación detallada de un sistema con dos entradas y dos salidas.....	52
Figura 25: Respuesta de un sistema de control	53
Figura 26: Esquema de un sistema de desalinización.....	54
Figura 27: Esquema general de una planta de ósmosis inversa.....	55
Figura 28: Esquema de las variables involucradas en una unidad de ósmosis inversa	56
Figura 29: Diagrama utilizado para la recolección de datos.	58
Figura 30: Sistema de control con desacoplamiento	59
Figura 31: Representación del lazo de control para Gp11.....	61
Figura 32: Representación del lazo de control para Gp22.....	62
Figura 33: Sistema de control con desacoplamiento y en lazo cerrado.....	62
Figura 34: Respuesta temporal del sistema de control para Gp11	63
Figura 35: Respuesta temporal del sistema de control para Gp22	64

CAPÍTULO I. DATOS GENERALES DE LAS EMPRESAS

1.1. Actividad principal

La empresa Representaciones Techlab S.A.C. tiene como actividad principal la importación, instalación, capacitación técnica y asistencia permanente de equipos para laboratorios químicos instrumentales y monitoreo ambiental.

La Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y la Universidad Privada del Norte (UPN), convergen en la noble misión de erigirse como baluartes de excelencia académica, tanto en el ámbito nacional e internacional, mediante una formación y una investigación de alta calidad.

1.2. Sector industrial al que pertenecen

Representaciones Techlab S.A.C. (Representaciones Techlab)

Además de la actividad principal detallada anteriormente, ofrece servicios de mantenimiento de equipos utilizados en el análisis químico, monitoreo ambiental y calidad de agua. La Figura 1 exhibe los diferentes equipos ofrecidos por la empresa;



Figura 1

Representaciones Techlab.

Nota: Fuente Representaciones Techlab

Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)

La PUCP se caracteriza por tener como objetivo principal el impulsar actividades de investigación con el fin de generar nuevo conocimiento, incrementar el desarrollo tecnológico y brindar alternativas de solución a problemas e interrogantes de carácter científico. Por lo mencionado, se promueve la investigación de calidad en todos los niveles de formación académica existentes, desde los estudios generales hasta el posgrado.

Universidad Privada del Norte (UPN)

Empresa que forma parte del consorcio Laureate Education, una red de instituciones que brinda educación de nivel superior y que cuenta con una destacada presencia en Latinoamérica. Además, a nivel mundial es ampliamente reconocida por su gran experiencia en gestión educativa.

1.3. Líneas de productos

Los productos y servicios que cada empresa ofrece son:

Representaciones Teclab

- Equipos para análisis instrumental: Equipos de Absorción Atómica, Equipos Plasma ICP-OES / ICP-MS, Equipos UV -VIS, Difractómetros de Rayos y Equipos de Cromatografía.
- Equipos para monitoreo ambiental: Monitores de Partículas PM10, PM 2.5, PM 1, Muestreadores de partículas, Monitores de Metales Pesados en Aire, Estaciones Meteorológicas, Sonómetros y Dosímetros.
- Equipos para el control de procesos industriales: Data Logger, Equipos para medir presión en línea, Equipos para medir Emisiones Gaseosas y Combustión, Analizadores de Gases (O₃, CO, CO₂, SO₂, H₂S) y Multiparámetros.
- Equipos para análisis químico: Equipos para preparación de muestras y Equipos digestores,
- Capacitación en aplicaciones químicas para equipos especializados de laboratorio para definir los métodos analíticos instrumentales óptimos.
- Mantenimiento de equipos especializados de laboratorio y de monitoreo ambiental.

PUCP

- Proyectos de investigación financiados por entidades estatales como CONCYTEC, donde se promueve la aplicación de los conocimientos de ingeniería para resolver problemas actuales.

UPN

- Servicios de enseñanza superior, donde las carreras de ingeniería cuentan con laboratorios químicos especializados.

1.4. Filosofía administrativa

A continuación, se describe la filosofía administrativa de las empresas donde se desarrollaron las actividades. Los elementos básicos de la filosofía administrativa de las empresas son los siguientes:

1.4.1. Visión

Alcanzar una posición de liderazgo indiscutible operando a nivel nacional y ofreciendo productos y servicios de excelencia, asegurándonos de cumplir completamente con las expectativas de nuestros clientes y satisfacer por completo sus necesidades y requerimientos. Para esto, ofrecemos servicios confiables en tiempo oportuno y trabajamos continuamente en el mejoramiento de nuestros procesos.

1.4.2. Misión

Promover un ambiente de trabajo seguro para nuestros colaboradores y asociados, implementando mecanismos de control y aseguramiento para la protección de todos durante la prestación de servicios. Minimizar y prevenir cualquier impacto ambiental adverso durante la realización de nuestros servicios. Comprometerse con la observancia escrupulosa de las regulaciones y otros requisitos relevantes, además de fomentar la mejora constante en la evaluación del desempeño del sistema que unifica la gestión en sus diferentes ámbitos: calidad, cuidado del medio ambiente, seguridad y salud en el trabajo.

1.4.3. Valores

- Confiabilidad, somos transparentes en lo que hacemos.
- Honestidad, actuamos con coherencia y sinceridad en todo momento.
- Trabajo en equipo, trabajamos en conjunto para lograr mejores resultados.
- Responsabilidad, cumplimos de forma cabal con cada tarea encomendada.
- Celeridad, asegurando la entrega oportuna del producto o servicio
- Puntualidad, cuidamos los tiempos en cada parte de nuestros procesos.
- Eficiencia, para entregar el mejor producto y servicio posible.

1.4.4. Políticas

Las empresas donde se desarrollaron las actividades mantienen normativas similares, los cuales tienen establecidos los siguientes lineamientos.

i. Política de seguridad, salud ocupacional y medio ambiente

La protección ambiental, la salud ocupacional y la seguridad son pilares fundamentales sobre los que se cimienta nuestra cultura empresarial; como también lo son para los clientes durante las operaciones, fomentando una cultura y estableciendo un sistema de gestión que busca anticipar riesgos y disminuir la huella ambiental, para ello se encarga de:

- Garantizar un ambiente de trabajo seguro, para nuestros colaboradores y asociados, buscando reducir al mínimo los riesgos, mediante la implementación de medidas proactivas durante la prestación de nuestros servicios.
- Asumir la responsabilidad de minimizar y prevenir cualquier impacto ambiental adverso durante la prestación de nuestros servicios, actuando con conciencia y compromiso.
- Establecer canales de comunicación y colaboración que permitan a los trabajadores participar activamente en el proceso de análisis y estimación de las repercusiones ambientales.

- Asegurar la observancia rigurosa de todas las normas y otros criterios pertinentes relacionados con: seguridad, salud laboral y medio ambiente.
- Realizar revisiones y actualizaciones periódicas de los documentos asociados con el medio ambiente, seguridad y salud laboral, teniendo como objetivo el promover la mejora permanente del sistema de gestión planteado.
- Fomentar la mejora constante del sistema que integra las medidas y acciones para preservar el medio ambiente y garantizar la calidad y la seguridad, a través de la implementación de estrategias y acciones sistemáticas.
- Fomentar la concientización y sensibilización del personal de la organización, clientes y visitantes, informando sobre el sistema que integra la gestión del medio ambiente, de salud laboral y de seguridad, extendiendo nuestra política a todas las partes relacionadas con nuestros procesos.

ii. Política de calidad

Enfocada en la constante mejora y en la plena satisfacción de las exigencias de los clientes, cumpliendo con los requerimientos, asegurando altos niveles de calidad y aplicando técnicas y métodos precisos e innovadores, todo ello de acuerdo con los valores y principios que impulsan la calidad; por ello, la empresa se compromete a:

- Nuestro compromiso inquebrantable en garantizar que se brinde un servicio que rebase las expectativas en la entrega de productos y/o servicios, de los clientes. Para esto, ofrecemos dichos servicios confiables en tiempo oportuno.
- Desarrollar sus actividades cumpliendo con los estándares que permitan satisfacer los requerimientos del cliente, haciendo uso eficiente de los recursos y empleando personal competente.
- Capacitar de manera continua a los colaboradores para poder ofrecer los mejores servicios y resolver oportunamente todos los requerimientos.
- Cumplir con las leyes, con la normativa y con el reglamento en vigor, al igual que con otras atribuciones que la empresa estime pertinentes.
- Fomentar una filosofía que permita la mejora constante de todos los procedimientos involucrados, a través del establecimiento de metas, evaluación

del desempeño y toma de decisiones oportunas que permitan cumplir con los objetivos empresariales.

1.5. Cultura organizacional

La cultura organizacional en la empresa Representaciones Techlab ha permitido su rápido y sólido crecimiento en el mercado debido a su enfoque en el eficaz servicio al cliente. Además, están orgullosos de brindar la mejor solución en el rubro de la minería, análisis químico, medio ambiente y educación, en todo momento y en todo el Perú, llegando a los 24 departamentos de nuestro país con los mejores productos tecnológicos y servicios de calidad.

1.6. Estructura funcional de la empresa Representaciones Techlab

Se va a detallar el organigrama de la empresa Representaciones Techlab, el cual es relevante en el contexto en el que se ha elaborado este informe.

En este organigrama se muestra las principales áreas con las cuales cuenta la empresa, esta estructura tiene el objetivo de mejorar los servicios que brinda y de acuerdo con sus características se ha propuesto una estructura simple y funcional. En consecuencia, la Figura 2 ilustra, en su primer nivel que el gerente general es quien se encarga de coordinar con el asesor de gerencia y supervisar al gerente administrativo, en el segundo nivel el gerente administrativo tiene bajo su supervisión la jefatura comercial, a la jefatura de mantenimiento y a la jefatura de procesos administrativos.

Por otro lado, en el tercer nivel se puede observar que el jefe comercial tiene a su cargo al ingeniero de aplicaciones para equipos especializados de laboratorio y equipos de control ambiental, al ejecutivo de ventas y al analista comercial. A su vez, el jefe de mantenimiento tiene a su cargo al ingeniero de mantenimiento. Análogamente, el jefe de procesos administrativos tiene a su cargo al ingeniero de seguridad y al asistente de recursos humanos.

Asimismo, en el cuarto nivel se puede notar que el ingeniero de aplicaciones tiene a su cargo al asistente del área técnica y un practicante. Mientras tanto, el ejecutivo de ventas tiene a su cargo un asistente de ventas y el ingeniero de mantenimiento tiene a su cargo un practicante.

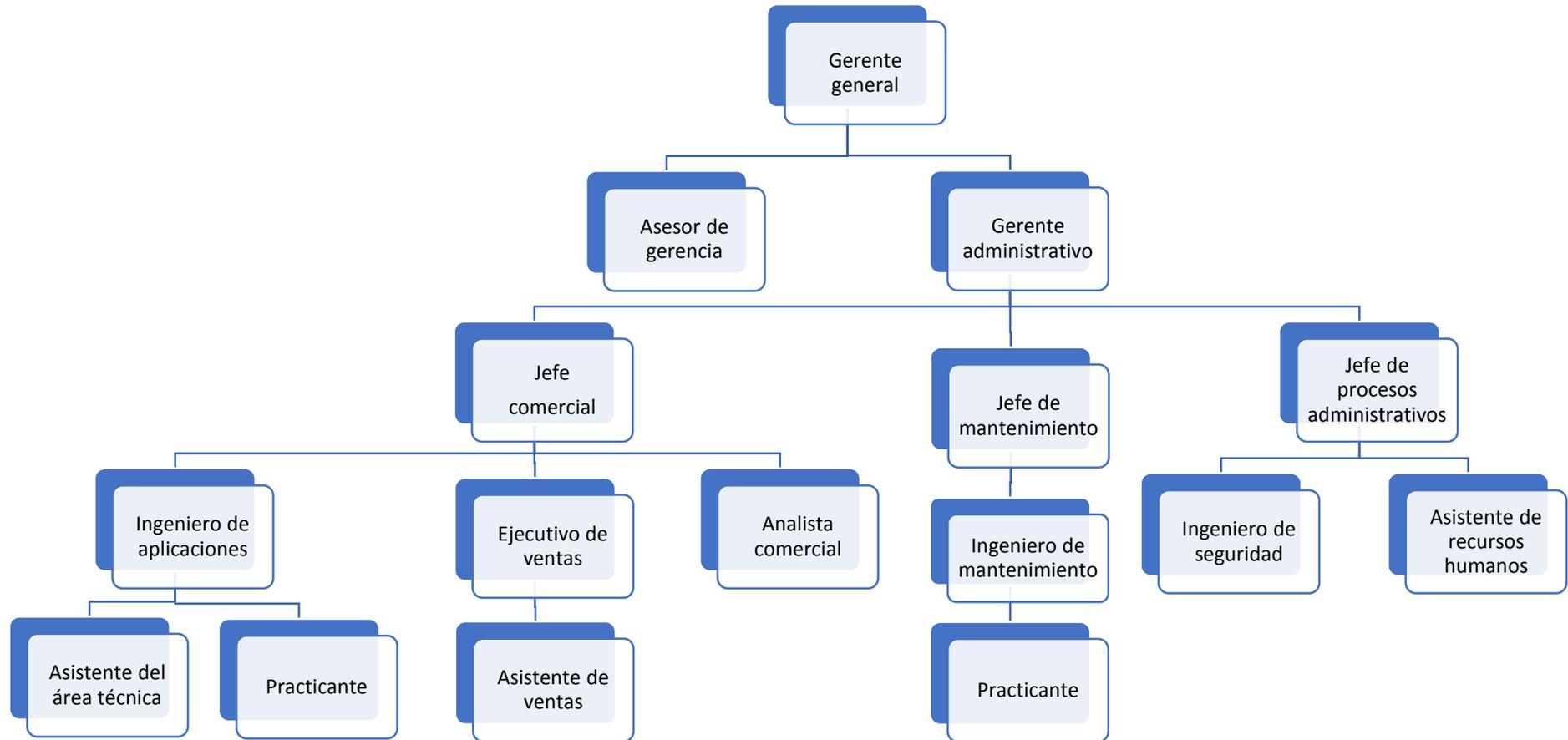


Figura 2

Organigrama funcional Representaciones Techlab.

1.7. Normatividad empresarial

Las empresas donde se desarrollaron las actividades son empresas privadas, formales y legalmente constituidas de acuerdo con las leyes establecidas por los ministerios, gobiernos locales y municipales, por ello están comprometidas con el cumplimiento legal en relación con sus trabajadores, cuidado del medio ambiente y responsabilidad social que integra en sus procesos de instalación, capacitación y asistencia técnica, con los más altos estándares de calidad.

- Sistema Nacional de Pensiones (SNP) o Administradores de Fondo de Pensiones (AFP).
- Seguro Social de Salud (ESSALUD) o Entidades prestadoras de Salud (EPS).
- Compensación por Tiempo de Servicio (CTS).

1.8. Principios de calidad

Los principios para el logro de la calidad en las empresas donde se desarrollaron las actividades son similares y se establecen en la política de calidad arriba descrita.

1.9. Sistema de seguridad industrial

Las empresas donde se desarrollaron las actividades cuentan con documentación y metodologías que permite establecer las directrices, para la identificación de peligros, evaluación de riesgos y medidas de control por puesto de trabajo y actividad, en todas las áreas operativas de la organización. Los documentos de referencia para dichos procedimientos son los siguientes:

- Ley 29783, Ley de seguridad y salud en el trabajo.
- Ley 30222, Modificatoria de la ley de seguridad y salud en el trabajo.
- Ley 28806, Ley general de inspección del trabajo.
- D.L. 19338, Ley del sistema nacional de defensa civil.

- D.L. 1499, Decreto legislativo que establece diversas medidas para garantizar y fiscalizar la protección de los derechos socio laborales de los/as trabajadores/as en el marco de la emergencia sanitaria por el COVID-19.
- D.S. 005-2012-TR, reglamento de la ley de seguridad y salud en el trabajo.
- D.S. 006-2014-MT, modificatoria del reglamento de la ley de seguridad y salud en el trabajo.
- D.S. 020-2019-TR, Decreto supremo que modifica el reglamento de la Ley 29783.
- D.S. 002-2018-PCM, Reglamento de inspecciones técnicas.
- D.S. 001-2021-TR, Decreto supremo que modifica diversos artículos del reglamento de la Ley 29783.
- D.S. 015-2005-SA, reglamento sobre valores limite permisibles para agentes químicos en el ambiente de trabajo.
- R.M. 375-2008-TR, norma básica de ergonomía y de procedimiento de evaluación de riesgo disergonómico.
- R.M. 480-2008-MINSA, aprobación de la NTS 068-MINSA/DGSP-V 1, norma técnica de salud que establece el listado de enfermedades profesionales.
- R.M. 050-2013-TR, Formatos referenciales con la información mínima que deben contener los registros obligatorios del SGSST.
- NTP 731.006:2019, Gestión del riesgo biológico en el laboratorio.
- NTP 399.010-1:2016, Señales de seguridad. Colores, símbolos, formas y dimensiones de señales.
- MPR-CNSP-013, Manual de bioseguridad para laboratorios, Ministerio de Salud.
- Resolución Ministerial 448-2020-MINSA, Lineamientos para la vigilancia, prevención y control de la salud de los trabajadores con riesgo de exposición a COVID-19.

1.10. Gestión de impactos ambientales

Las empresas donde se desarrollan las actividades se encuentran comprometidas en proteger el medio ambiente mediante la prevención y minimización de impactos negativos generados durante el desarrollo de los procesos. Los documentos de referencia para dichos procedimientos son los siguientes:

- Ley 28611, Ley general del ambiente.
- Ley 27446, ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental.
- Ley 28256, Ley que regula el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- D.L. 1278, ley de gestión integral de residuos sólidos.
- D.L. 635, Código penal título XIII delitos contra la ecología.
- D.L. 1501, Decreto legislativo que modifica el D.L. 1278 que aprueba la ley de gestión integral de residuos sólidos.
- D.S. 019-2009-MINAM, reglamento de ley del sistema nacional de evaluación de impacto ambiental.
- D.S. 014-2017-MINAM, Reglamento de la ley de gestión integral de residuos sólidos.
- D.S. 009-2019-MINAM, Régimen especial de gestión y manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos.
- D.S. 021-2008-MTC, Reglamento nacional de transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- D.S. 004-2017-MINAM, estándares de calidad ambiental para agua.
- D.S. 003-2017-MINAM, estándares de calidad ambiental para aire.
- D.S. 011-2017-MINAM, estándares de calidad ambiental para suelo.
- D.S. 085-2003-PCM, reglamento de estándares nacionales de calidad ambiental para ruido.
- D.S. 021-2009-VIVIENDA, valores máximos admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domesticas en el sistema de alcantarillado sanitario.

- NTP 900.058-2019, Gestión de residuos. Código de colores para el almacenamiento de residuos sólidos.
- NTP 900.064-2021, Gestión ambiental. Gestión de residuos. Manejo de residuos de aparatos eléctricos y electrónicos. Generalidades.
- Ordenanza 1778-2014, Gestión metropolitana de residuos sólidos municipales.
- Ordenanza 1915-2015, Modificatoria de la gestión metropolitana de residuos sólidos municipales.
- D.A. 017-2015, Reglamento de la ordenanza sobre gestión metropolitana de residuos sólidos municipales.

CAPITULO II. CARGOS Y FUNCIONES

2.1. Contexto laboral

Las empresas en las que se han desarrollado las funciones fueron 3: Representaciones Techlab S.A.C., la Pontificia Universidad Católica del Perú y la Universidad Privada del Norte, desde enero del 2014 hasta la actualidad, en puestos donde se aplicaron los diversos conocimientos adquiridos durante la formación profesional.

2.2. Cargos y funciones dentro de las organizaciones

A continuación, se detalla el cargo y las funciones realizadas en las empresas donde se ejecutaron las diferentes actividades.

Empresa: Representaciones Techlab S.A.C.

Periodo: del 31 de enero al 28 de febrero del 2014 y del 01 de setiembre del 2016 al 31 de diciembre del 2017

Cargo: Ingeniero de aplicaciones químicas para equipos especializados de laboratorio y equipos de control ambiental

Funciones:

- Establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente las aplicaciones químicas para equipos especializados de laboratorios químicos y equipos de control ambiental.
- Identificar, investigar, analizar y desarrollar métodos analíticos instrumentales para garantizar la concentración de diferentes analitos en una muestra.
- Gestión de laboratorios químicos referente a la puesta en marcha de los ensayos químicos utilizando métodos analíticos instrumentales.

Empresa: Pontificia Universidad Católica del Perú

Periodo: del 1 de marzo del 2014 al 9 de marzo del 2016

Cargo: Investigadora becada de la Maestría en Ingeniería de Control y Automatización

Funciones:

- Desarrollar una investigación respecto al control avanzado de plantas de ósmosis inversa.
- Diseñar controladores PID avanzado para el control robusto de una unidad de ósmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar.

Empresa: Universidad Privada del Norte

Periodo: del 13 de marzo del 2019 al 31 de diciembre del 2020 y del 3 de enero del 2022 al 7 de febrero del 2023

Cargo: Supervisora de Laboratorio

Funciones:

- Elaborar, implementar, actualizar y mejorar manuales de prácticas de laboratorios químicos.
- Monitorear el desarrollo de las prácticas en los laboratorios químicos y de análisis instrumental.
- Establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente la documentación referente a sustancias químicas peligrosas.
- Gestión de la calidad, buenas prácticas de laboratorio (BPL), metodología 5S y gestión ambiental.

2.3.En las

, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, Figura 6, Figura 7 y Figura 8 se muestran los certificados de trabajo y evidencias emitidas por las diferentes empresas.



**REPRESENTACIONES
TECHLAB S.A.C.**

Equipos de Laboratorio y Monitoreo Ambiental

CERTIFICADO DE TRABAJO

La que suscribe Sra. Celia Estefa Feliciano Vilcayauri de Neira, Gerente General de la empresa REPRESENTACIONES TECHLAB S.A.C. con RUC N° 20508666293, con domicilio legal en Av. Paseo de la República Nro. 2406, Lince - Lima - Lima.

CERTIFICA:

Que, la señorita **DIANA ELIZABETH ROJAS CARBAJAL**, identificada con DNI N° 46462483, ha trabajado en nuestra empresa como Ingeniero de Aplicaciones Químicas para Equipos Especializados de Laboratorio y Equipos de Control Ambiental, desde el 01 de Octubre del 2013 hasta el 28 de Febrero del 2014.

Durante su permanencia en la Empresa, la señorita ha demostrado profesionalismo, puntualidad, responsabilidad, eficiencia, lealtad y honradez en el desempeño de sus funciones. Cesó en sus labores por renuncia voluntaria.

Se expide el presente documento a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Lima, 03 de Marzo del 2014.



Celia Estefa Feliciano Vilcayauri de Neira
REPRESENTACIONES TECHLAB S.A.C.
Gerente General
REPRESENTACIONES TECHLAB S.A.C.
CELIA ESTEFA FELICIANO
VILCAYAURI DE NEIRA
GERENTE GENERAL

Av. Paseo de la República 2406 - Lima 14
Telefax: (511) 221-1333 Telf: 222-3628
www.rptechlab.com
info@rptechlab.com









Figura 3

Certificado de trabajo en Representaciones Techlab.



**REPRESENTACIONES
TECHLAB S.A.C**

Equipos de Laboratorio y Monitoreo Ambiental

CERTIFICADO DE TRABAJO

La que suscribe Sra. Celia Estefa Feliciano Vilcayauri de Neira, Gerente General de la empresa REPRESENTACIONES TECHLAB S.A.C. con RUC N° 20508666293, con domicilio legal en Av. Paseo de la República Nro. 2406, Lince - Lima - Lima.

CERTIFICA:

Que, la señorita **DIANA ELIZABETH ROJAS CARBAJAL**, identificada con DNI N° 46462483, ha trabajado en nuestra empresa como Ingeniero de Aplicaciones Químicas para Equipos Especializados de Laboratorio y Equipos de Control Ambiental, desde el 01 de Setiembre del 2016 hasta el 31 de Diciembre del 2017.

Durante su permanencia en la Empresa, la señorita ha demostrado profesionalismo, puntualidad, responsabilidad, eficiencia, lealtad y honradez en el desempeño de sus funciones. Cesó en sus labores por renuncia voluntaria.

Se expide el presente documento a solicitud de la interesada para los fines que estime conveniente.

Lima, 04 de Enero del 2017.



Celia Estefa Feliciano Vilcayauri de Neira
REPRESENTACIONES TECHLAB S.A.C.
Gerente General
REPRESENTACIONESTECHLABSAC
CELIA ESTEFA FELICIANO
VILCAYAURI DE NEIRA
GERENTE GENERAL

Av. Paseo de la República 2406 - Lima 14
Telefax: (51 1) 221-1333 Tel: 222-3628
www.rptechlab.com
info@rptechlab.com









Figura 4

Certificado de trabajo en Representaciones Techlab.



Figura 5

Anverso del título de magister obtenido como investigadora becada Concytec.



Figura 6

Reverso del título de magíster obtenido como investigadora becada Concytec.



Certificado de Trabajo

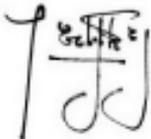
El DIRECTOR GESTION DEL TALENTO HUMANO de la UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C

CERTIFICA

Que don (doña) DIANA ELIZABETH ROJAS CARBAJAL, identificado (a) con DNI N°46462483 ha prestado sus servicios en nuestra institución desde el 13 de Marzo del 2019 hasta el 31 de Diciembre del 2020, desempeñando el Cargo de SUPERVISOR DE LABORATORIO.

Extendemos el presente certificado para los fines que el interesado estime conveniente.

Lima, 31 de Diciembre del 2020



ERLITH TANCHIVA SEGURA
DIRECTOR GESTION DEL TALENTO HUMANO

Figura 7

Certificado de trabajo en Universidad Privada del Norte.



CONSTANCIA DE TRABAJO

Mediante el presente documento, UNIVERSIDAD PRIVADA DEL NORTE S.A.C, deja constancia de que DIANA ELIZABETH ROJAS CARBAJAL, con DNI 46462483, labora en nuestra Institución desde el 03 de enero de 2022 y desempeña el cargo de SUPERVISOR DE LABORATORIO.

Se extiende la presente constancia para los fines que estime conveniente.

Lima, 07 de febrero de 2023.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Erlith Tanchiva Segura', is positioned above a horizontal line.

ERLITH TANCHIVA SEGURA
DIRECTORA DE GESTION DEL TALENTO HUMANO

Figura 8

Certificado de trabajo en Universidad Privada del Norte.

2.4. Responsabilidades señaladas en el manual de organización y funciones

A continuación, se describirá minuciosamente los deberes descritos en el manual de organización y funciones (MOF) en las empresas en las que se laboró.

Ingeniero de aplicaciones químicas para equipos especializados de laboratorio y equipos de control ambiental: Representaciones Techlab S.A.C.

- Cumplir los objetivos, misión y visión de la empresa.
- Cumplir con la jornada laboral indicada por la organización
- Cumplir con las normas de conducta y trabajo de la organización.
- Mantener actualizados los registros de Límites Máximos Permisibles (LMP) de elementos considerados en las normas y guías de exportación de diferentes industrias.
- Mantener actualizado el registro de concentraciones permitidas, basadas en los estándares de calidad ambiental para suelo, agua y aire.
- Mantener actualizada la documentación de aplicaciones químicas establecidas en normas internacionales, en la normativa peruana y en la industria.
- Realizar la identificación de aspectos y evaluación de impactos ambientales en los procesos.
- Realizar los procedimientos, instructivos y formatos correspondientes a la identificación de peligros, evaluación de riesgos y control de procesos.
- Evaluar y determinar los equipos especializados de laboratorio y/o control ambiental que se puedan utilizar en cada proceso.
- Cotizar equipos especializados de laboratorio priorizando la exactitud, precisión, tipo de muestra, componentes de la muestra y normas referenciales.
- Investigar y definir el método analítico instrumental adecuado para cada proceso: toma de muestra, preparación, análisis instrumental y evaluación de resultados.
- Elaboración de procedimientos de ensayos, instructivos, formatos y manuales de calidad para el desarrollo de análisis instrumentales químicos y/o ambientales.

- Gestionar los procedimientos para el almacenamiento y manipulación de sustancias químicas peligrosas.
- Preparación de muestras a través de digestiones químicas analíticas, calentamiento y diluciones.
- Realizar los entrenamientos técnicos para el correcto manejo de equipos especializados de laboratorio: espectrofotómetro de absorción atómica, espectrofotómetro UV-Vis, cromatógrafo de gases, HPLC, ICP-MS, ICP-OES.
- Análisis químico de muestras mediante diversos métodos instrumentales.
- Supervisar la preparación de muestras, análisis de muestras, manejo y calibración de equipos especializados de laboratorio.
- Analizar el resultado y desempeño de los procesos, para luego tomar acciones de mejora e implementación de nuevas técnicas de análisis.
- Otras funciones que le designe su jefe inmediato.

**Investigadora becada de la Maestría de Ingeniería de Control y Automatización:
Pontificia Universidad Católica del Perú**

- Cumplir las metas establecidas, fomentar la cultura organizacional, y materializar la misión y visión de la organización.
- Cumplir con el bienestar, orden y moral de la organización.
- Cumplir con el reglamento de conducta de la organización.
- Desarrollar una revisión exhaustiva de los controladores PID y del control empleado en plantas que usan la tecnología de ósmosis inversa.
- Evaluar las técnicas de control más utilizadas en la actualidad.
- Analizar la robustez de las estrategias más comúnmente empleadas para controlar las plantas de ósmosis inversa.
- Detallar cómo funciona la ósmosis inversa y el proceso operativo para la instalación de una planta de desalinización.

- Formular un modelo que explique matemáticamente el comportamiento de un sistema de ósmosis inversa, aplicando la técnica de identificación de sistemas.
- Elaborar un algoritmo de control PID mejorado utilizando el enfoque MIGO como base.
- Llevar a cabo simulaciones de un sistema de control basado en el PID-MIGO en diversas condiciones operativas.
- Evaluar cómo se comporta el sistema de control PID-MIGO en comparación con controladores convencionales, bajo diferentes parámetros del proceso.
- Otras funciones que le designe su jefe inmediato.

Supervisora de laboratorio: Universidad Privada del Norte

- Cumplir los objetivos, misión, visión y metas de la organización.
- Cumplir con el bienestar y orden de la organización.
- Cumplir con las directrices y normativas internas de la organización.
- Mantener actualizado el registro de agentes químicos, físicos y biológicos.
- Mantener actualizado el registro de identificación y reconocimiento de los reactivos químicos peligrosos.
- Mantener actualizada la documentación de riesgos relacionados con incidentes que involucren reactivos químicos peligrosos.
- Gestionar el almacenamiento, manejo y eliminación adecuada de las sustancias y/o reactivos químicos peligrosos.
- Elaborar, actualizar y mejorar procedimientos de ensayos, instructivos, formatos y manuales de prácticas realizadas en los laboratorios de química.
- Realizar la identificación y evaluación de peligros y riesgos, durante las actividades del laboratorio.
- Mantener actualizado los manuales de uso de los equipos especializados de los laboratorios de química y análisis instrumental.

- Realizar capacitaciones a usuarios de instrumentos especializados en los laboratorios de química y análisis instrumental.
- Calibrar equipos e instrumentos especializados, de acuerdo con el requerimiento de uso.
- Manejar equipos especializados de laboratorio para realizar el análisis de agua, suelo y aire utilizando instrumentación especializada.
- Supervisar la preparación y análisis de muestras en las prácticas y proyectos de investigación.
- Gestionar el mantenimiento de equipos especializados con el fin de garantizar resultados óptimos.
- Gestionar según las pautas detalladas como Buenas Prácticas de Laboratorio (BPL) al inicio, durante y final de las prácticas.
- Gestionar los laboratorios según la metodología 5S.
- Realizar la identificación y evaluación de aspectos ambientales y sus impactos en las prácticas de laboratorio.
- Manejo completo de residuos sólidos y peligrosos.
- Otras funciones que le designe su jefe inmediato

2.5. Personal a cargo y sus responsabilidades (Representaciones Techlab)

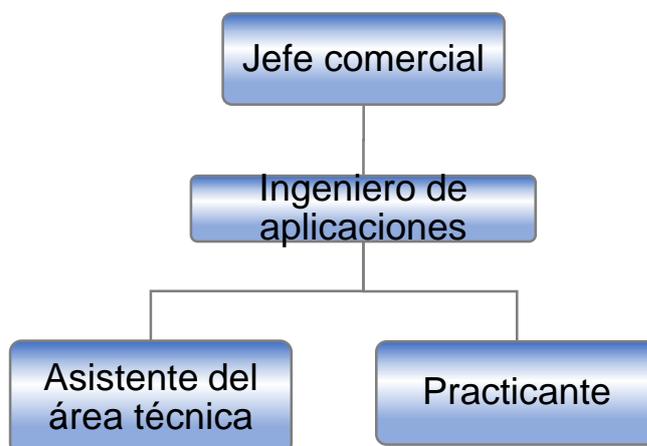


Figura 9

Organigrama del área de aplicaciones químicas.

La Figura **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**9 muestra el organigrama de dependencias jerárquicas del área de aplicaciones químicas de la empresa Representaciones Techlab; a continuación, se mencionará los cargos subordinados del ingeniero de aplicaciones y se detallará sus funciones en la empresa:

Asistente del área técnica

- Participar en la identificación de aspectos y la evaluación de los impactos ambientales en los procesos.
- Participar en la identificación de peligros, evaluación de riesgos y control en los procesos.
- Realizar el check list de los requerimientos del proceso, detallando los equipos especializados que permitan cumplir con los parámetros definidos.
- Participar en la determinación del método analítico instrumental que permita cumplir con los requerimientos del proceso.
- Realizar las inspecciones sobre el almacenamiento y manipulación de sustancias químicas peligrosas.

Practicante

- Mantener al día el registro de las normativas y directrices para la exportación de concentrados metálicos, joyería, productos agrícolas, entre otros.
- Mantener actualizado los estándares/ parámetros de calidad ambiental (ECA).
- Realizar la cotización preliminar de los equipos especializados que se requieran en cada proceso.
- Participar en el entrenamiento técnico para la preparación de muestras y el correcto manejo de equipos especializados de laboratorio.

Para los cargos de asistente del área técnica y practicante no se tiene personal a cargo.

2.6. Función ejecutiva y/o administrativa adicional

La empresa Representaciones Techlab adicionalmente participa de procesos de licitación en el sector público y privado, también realiza Workshops técnicos para la presentación de equipos especializados de laboratorio, dirigido a clientes potenciales. Asimismo, se realizan visitas técnicas a clientes potenciales para presentar equipos especializados que satisfagan sus requerimientos, visitas técnicas periódicas a clientes para afianzar la relación y visitas técnicas a proveedores nacionales e internacionales, para la presentación de nuevos productos, absolver dudas y fortalecer la relación de negocios. Por todo lo expuesto, en las funciones asignadas al cargo, la organización designa las tareas y labores asignadas en la Tabla 1.

La empresa Representaciones Techlab adicionalmente participa de procesos de licitación en el sector público y privado, también realiza Workshops técnicos para la presentación de equipos especializados de laboratorio, dirigido a clientes potenciales. Asimismo, se realizan visitas técnicas a clientes potenciales para presentar equipos especializados que satisfagan sus requerimientos, visitas técnicas periódicas a clientes para afianzar la relación y visitas técnicas a proveedores nacionales e internacionales, para la presentación de nuevos productos, absolver dudas y fortalecer la relación de negocios. Por todo lo expuesto, en las funciones asignadas al cargo, la organización designa las tareas y labores asignadas en la Tabla 1.

En la Pontificia Universidad Católica del Perú y en la Universidad Privada del Norte, no se desarrollan actividades ejecutivas y/o administrativas adicionales a las tareas especificadas en el manual de estructura organizativa, por ser puestos de nivel jerárquico inicial.

Tabla 1

Función ejecutiva y/o administrativa de Representaciones Techlab.

Tareas	Labores
Gestión de representación técnica frente a proveedores y clientes del sector público y privado.	<ul style="list-style-type: none"> • Actuar en nombre de la empresa durante los procesos de licitación tanto públicos como privados. • Organización de talleres (workshops técnicos) dirigido a clientes potenciales, para la presentación de nuevos equipos especializados para laboratorios químicos. • Visitas técnicas a clientes potenciales para identificar sus necesidades y presentar productos que satisfagan sus requerimientos. • Visitas técnicas periódicas a clientes para afianzar la relación, absolver consultas e identificar nuevos requerimientos. • Visitas técnicas presenciales o remotas a proveedores nacionales e internacionales, para la presentación de nuevos equipos especializados y el fortalecimiento de la relación de negocios.

2.7. Cronograma de realización de las actividades

En la

se muestran las actividades y labores que se realizaron y ejecutaron de manera detallada, de acuerdo con las funciones del puesto.

En resumen, en la empresa Representaciones Techlab se realizó la identificación de requerimientos de diversos procesos para luego determinar los equipos especializados de laboratorio químico y/o control ambiental que se pueden utilizar. Asimismo, se definieron los métodos analíticos instrumentales que se deben implementar de acuerdo con el proceso y cumpliendo las normas correspondientes. También, se brindó entrenamientos técnicos en las cuales se detallaba la correcta preparación de muestras, la correcta operación de equipos especializados de laboratorio y la interpretación de los datos obtenidos, considerando acciones de mejora y la implementación de nuevas técnicas de análisis.

En la PUCP se evaluó las estrategias para el control de procesos más utilizadas en la actualidad y se analizó la robustez de cada una de ellas. Además, se investigó el proceso de ósmosis inversa, se analizó el funcionamiento de una planta de desalinización de agua de mar y se desarrolló un modelo que describe el comportamiento matemático de un sistema de ósmosis inversa, mediante la técnica de identificación de sistemas. De igual modo, se desarrolló el algoritmo de control PID mejorado basado en el enfoque MIGO, se realizaron varias simulaciones con el controlador PID-MIGO utilizando diversos parámetros nominales y se evaluó el rendimiento del sistema de control diseñado, comparándolo con otros controladores más comúnmente utilizados.

Y finalmente en la Universidad Privada del Norte se elaboró, implementó, actualizó y mejoró los manuales de prácticas de laboratorios químicos, procedimientos de ensayos, instructivos y formatos, teniendo en cuenta la identificación, evaluación y control de peligros y riesgos. Igualmente, se realizó capacitaciones a usuarios de instrumentos y equipos especializados en los laboratorios químicos, análisis instrumental y ambiental, también se supervisó el desarrollo de las prácticas de laboratorio, la calibración de equipos especializados y el manejo de equipos de análisis instrumental para análisis de agua, suelo y aire. Asimismo, se asumió la responsabilidad de la documentación referente a sustancias químicas peligrosas, del manejo integral de la calidad, de las BPL, de la implementación de la metodología 5S y de la gestión ambiental.

Tabla 2*Cronograma de realización de actividades como bachiller.*

Empresa	Actividad Desarrollada	Periodo	
		Desde	Hasta
Representaciones Techlab S.A.C.	Establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente las aplicaciones químicas para equipos especializados de laboratorios químicos y equipos de control ambiental.		
	Identificar, investigar, analizar y desarrollar métodos analíticos instrumentales para garantizar la concentración de diferentes analitos en una muestra.	31 de enero del 2014 01 de setiembre del 2016	28 de febrero del 2014 31 de diciembre del 2017
	Gestión de laboratorios químicos referente a la puesta en marcha de los ensayos químicos utilizando métodos analíticos instrumentales.		
Pontificia Universidad Católica del Perú	Desarrollar una investigación respecto al control avanzado de plantas de ósmosis inversa.		
	Diseñar controladores PID mejorados para asegurar un control eficaz de un sistema de ósmosis inversa correspondiente a una planta desaladora de agua de mar.	01 de marzo del 2014	09 de marzo del 2016

Universidad Privada del Norte	Elaborar, implementar, actualizar y mejorar manuales de prácticas de laboratorios químicos.		
	Monitorear el la realización de prácticas en laboratorios químicos y de análisis instrumental.	13 de marzo del 2019	31 de diciembre del 2020
	Establecer, implementar, mantener y mejorar continuamente la documentación referente a sustancias químicas peligrosas.	03 de enero del 2021	07 de febrero del 2024
	Gestión de la calidad, buenas prácticas de laboratorio (BPL), metodología 5S y gestión ambiental.		

CAPITULO III. DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD TÉCNICA Y APLICACIÓN PROFESIONAL

El presente capítulo se realizará en función al título del presente informe, el cual corresponde a la empresa Representaciones Techlab y a la investigación realizada en la PUCP.

3.1. Contexto laboral en el área de trabajo

3.1.1. Labores y tareas relacionadas con el tema específico a desarrollar

Dentro de las funciones está diseñar los controladores específicos que se requieran, así como evaluar y determinar los equipos necesarios para su implementación práctica. A continuación, se detallan las funciones:

- Caracterizar e identificar el comportamiento dinámico de las unidades que conforman los procesos industriales.
- Diseñar los controladores adecuados, considerando las condiciones operativas.
- Realizar las simulaciones de los controladores diseñados, su puesta en práctica y evaluación bajos diferentes escenarios de operación.
- Realizar los entrenamientos técnicos para el correcto manejo de equipos especializados y del sistema de control implementado.

3.1.2. Conocimientos técnicos de su especialidad requeridos para el cumplimiento de sus funciones

Para garantizar el adecuado desempeño de las operaciones industriales, existe un factor neurálgico que se debe implementar; éste es el diseño de controladores que permitan monitorear y controlar los parámetros involucrados en los procesos y que garanticen una respuesta adecuada frente a las diversas perturbaciones que se presenten. En el diseño de controladores para los sistemas de ósmosis inversa en plantas desalinizadoras de agua marina se utilizan conceptos definidos en diversos

campos de estudio, entre las que destacan la ingeniería, la física y la química. En resumen, las materias que se requieren son:

- Balance de materia y energía, para establecer cuantitativamente las variables que intervienen antes y después de los procesos definidos como sistemas.
- Fenómenos de transporte, permite comprender los fenómenos que ocurren a nivel molecular en los procesos y plasmarlos a través de expresiones matemáticas que se utilizarán en la caracterización de estos procesos.
- Transferencia de cantidad de movimiento, permite realizar los balances de cantidad de movimiento y definir los flujos implicados en el control de los procesos.
- Transferencia de calor, permite realizar los balances de energía y definir las temperaturas fundamentales en el control de los procesos.
- Transferencia de masa, permite realizar los balances de materia y definir las concentraciones fundamentales en el control de los procesos.
- Materiales industriales, permite definir los materiales específicos que se usarán en cada proceso (mallas, bombas, tuberías, etc.) en base a sus propiedades físicas y químicas.
- Industria de los procesos químicos, permite analizar los procesos de producción e interpretar la evolución que existe para convertir una materia prima en un producto terminado.
- Instrumentos de control, permite conocer, estudiar y definir los instrumentos de control que se emplean en las técnicas de control en la actualidad.
- Simulación y control de procesos, permite realizar la representación de los procesos químicos y conocer el control automático y las técnicas utilizadas a nivel industrial.
- Diseño de plantas, permite el análisis y comprensión de la distribución de las plantas industriales y proponer la ubicación de instrumentos y equipos ya sean de análisis adicionales, de monitoreo, entre otros.

- Higiene industrial, permite identificar los peligros y riesgos involucrados en los procesos químicos con el propósito de controlarlos, ya sea eliminándolos o reduciéndolos.
- Tratamiento de agua industrial, permite comprender y analizar las diferentes tecnologías utilizadas en el tratamiento de agua.
- Análisis Químico Instrumental, permite estudiar, analizar y mejorar los métodos analíticos que permiten el estudio de muestras ambientales, muestras de suelos, muestras de efluentes, etc.
- Análisis de las normas ISO 9001:2015 – ISO 14001:2015 – OHSAS 18001:2007, como guías para apoyar el acatamiento de normativas relacionadas con: calidad, temas ambientales, seguridad y salud ocupacional.
- Diploma de posgrado en Ingeniería de Control y Automatización, permite comprender, analizar, desarrollar e implementar sistemas de control avanzado que se utilizan en el ámbito industrial.

3.1.3. Participación en actividades complementarias

3.1.3.1. Actividades de investigación o innovación realizadas como Bachiller

Como Bachiller he realizado las siguientes actividades de investigación o innovación:

- El desarrollo de métodos analíticos instrumentales que incluyen las guías para toma de muestra, preparación de muestra, análisis instrumental y evaluación de resultados, de acuerdo al proceso definido y cumpliendo las normas respectivas.
- Como Investigadora becada de la Pontificia Universidad Católica del Perú, el desarrollo un estudio sobre el diseño de diversos controladores avanzados para el manejo de sistemas de ósmosis inversa en plantas donde se tiene como objetivo desalinizar agua.

3.1.3.2. Participación en unidades o grupos de seguridad industrial

Dentro de las organizaciones mencionadas anteriormente, la colaboración en equipos de seguridad industrial es:

- Liderar los equipos de gestión sobre el almacenaje, manipulación y la eliminación adecuada de las sustancias y/o reactivos químicos peligrosos y de gestión integral de residuos sólidos.
- Participar en la identificación, evaluación y control de peligros y riesgos en las prácticas de laboratorio.
- Participar en el análisis y evaluación de aspectos ambientales y sus impactos en las prácticas de laboratorio.

3.1.3.3. Actividades de Representación de la Empresa

La empresa Representaciones Techlab adicionalmente participa de procesos de licitación en el sector público y privado, también realiza ‘workshops’ técnicos para la presentación de equipos especializados de laboratorio, dirigido a clientes potenciales. Asimismo, se realizan visitas técnicas a clientes potenciales para presentar equipos especializados que satisfagan sus requerimientos, visitas técnicas periódicas a clientes para afianzar la relación y visitas técnicas a proveedores nacionales e internacionales, para la presentación de nuevos productos, absolver dudas y fortalecer la relación de negocios. Por todo lo expuesto, en las funciones asignadas al cargo, la organización designa las tareas y labores asignadas en la Tabla 1.

En la Pontificia Universidad Católica del Perú y en la Universidad Privada del Norte, no se desarrollan actividades ejecutivas y/o administrativas adicionales a los deberes señalados en la guía organizativa, por ser puestos de nivel jerárquico inicial.

Tabla 3*Función ejecutiva y/o administrativa de Representaciones Techlab.*

Tareas	Labores
Gestión de representación técnica frente a proveedores y clientes del sector público y privado.	<ul style="list-style-type: none"> • Actuar en nombre de la empresa durante los procesos de licitaciones tanto públicas como privadas. • Organización de talleres (workshops técnicos) dirigido a clientes potenciales, para la presentación de nuevos equipos especializados para laboratorios químicos. • Visitas técnicas a clientes potenciales para identificar sus necesidades y presentar productos que satisfagan sus requerimientos. • Visitas técnicas periódicas a clientes para afianzar la relación, absolver consultas e identificar nuevos requerimientos. • Visitas técnicas presenciales o remotas a proveedores nacionales e internacionales, para la presentación de nuevos equipos especializados y el fortalecimiento de la relación de negocios.

3.1.3.4. Otras actividades complementarias

Dentro la organización como actividades complementarias han sido las siguientes:

i. Responsable de las calibraciones de equipos

Como responsable de verificar las calibraciones de equipos, realizaba las inspecciones y revisiones para valorar la calidad de los resultados alcanzados con los equipos; asimismo vigilaba y asesoraba para el cumplimiento del rol de calibraciones internas y externas de los equipos. Dentro de las funciones se encuentran:

- Evaluar los manuales de los equipos y la frecuencia de uso de estos, ello para definir la periodicidad de las calibraciones internas y externas.
- Realizar un rol de calibraciones externas de los equipos, donde se incluya el presupuesto requerido y velar por su cumplimiento.

- Conducir revisiones regulares en todos los departamentos de la empresa con el objetivo de valorar la calidad de los resultados alcanzados con los equipos.
- Asegurar que los nuevos empleados que se incorporen a la empresa reciban la adecuada instrucción y orientación para realizar las calibraciones internas de los equipos.

ii. Responsable de establecimiento para la declaración de consumo de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados (IQBF)

Como responsable de establecimiento para la declaración del gasto de Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados (IQBF), realizaba las funciones de registrar cada vez que se utilizaban los reactivos químicos controlados y presentar un informe mensual de forma consolidada. Dentro de las funciones que he realizado se encuentran:

- Comprender y actualizar periódicamente la lista publicada por SUNAT sobre los Insumos Químicos y Bienes Fiscalizados (IQBF).
- Registrar y actualizar el inventario cada vez que se usen los reactivos, incluyendo los reactivos controlados.
- Realizar un informe mensual donde se consolide el consumo de los IQBF.
- Informar y registrar las incidencias relacionadas a los reactivos controlados.
- Preservar la información histórica del consumo de IQBF, para ser presentada ante auditorías internas y/o externas.

3.2. Hechos relevantes de la actividad técnica

3.2.1 Descripción de la realidad problemática

En las operaciones industriales que forman parte de la industria química, siempre se busca garantizar su adecuado desempeño frente a diversas variaciones que pueden experimentar los parámetros monitoreados y controlados que lo conforman; por ello,

se recomienda implementar un sistema eficaz de control que posibilite obtener una salida adecuada frente a las perturbaciones que puede experimentar un proceso.

3.2.2 Definición del problema general y secundarios

Para la puesta en marcha de un sistema de control eficaz, es crucial realizar un buen diseño del controlador que se utilizará; por ello, el diseño de los controladores es un tema estudiado en múltiples investigaciones, donde se abarca la identificación del comportamiento dinámico del proceso, el desarrollo del controlador propuesto y el análisis del desempeño del controlador diseñado para garantizar un control efectivo.

3.2.3 Justificación e importancia

Cerca del 70% de la superficie de nuestro planeta está cubierta por el agua; sin embargo, la mayoría de esta agua no es apta para el consumo humano ya que el 97.5% es agua salada, concentrada en océanos y mares. El agua dulce, sólo representa el 2.5% de total y 70% de ella se encuentra almacenada en glaciares, nieve o hielo, lo que la hace inaccesible para la mayoría de los usos. El 30% restante se encuentra en agua subterráneas y menos del 1% del agua dulce del planeta Tierra es realmente accesible para el consumo humanos y los ecosistemas. El uso del agua dulce varía según el sector: la agricultura y ganadería consumen la mayor parte (69%), seguida por la industria (19%) y el sector municipal (12%). La demanda de agua potable aumenta sin cesar, lo que pone en riesgo su disponibilidad para millones de personas. Según un reciente informe de la Organización de las Naciones Unidas (ONU), publicado en el marco del Día Internacional del Agua, alrededor del 26% de la población mundial; es decir, cerca de 2000 millones de personas, no tienen acceso a agua potable. Se estima que esta cifra aumentará a 2400 millones de personas para el año 2050. Todo lo expuesto conlleva a buscar fuentes no convencionales para la obtención de agua, tratando de aprovechar así otro tipo de reservas de agua; en ese contexto, una alternativa más viable para enfrentar la escasez de agua dulce es convertir el agua salada en agua potable mediante un método de desalinización por la técnica de ósmosis inversa. A nivel mundial, existen alrededor de 6500 plantas instaladas para la desalinización mediante ósmosis inversa.

Actualmente en nuestro país, de acuerdo con los datos de la Autoridad Nacional del Agua (ANA), la demanda de agua asciende a 5189 hm³/año, siendo la distribución de uso de la siguiente manera: el 41% del total es para uso doméstico, el sector agrario consume el 36% del agua, el 16% se destina a procesos industriales, el 6% para el sector minero y 1% para uso recreacional y otros usos. A su vez, el Perú está incluido como un país con altas probabilidades de experimentar un déficit de agua dulce para el año 2040 y se encuentra en una condición altamente vulnerable ante el riesgo de una crisis hídrica, tal es así que para el 2030 se estima que casi seis de cada diez peruanos sufrirán por la falta de este recurso vital. Ante este panorama y siguiendo la tendencia mundial, en el país se cuenta con algunas plantas desalinizadoras involucradas en proyectos agrícolas, en la actividad minera y para la obtención de agua potable.

Por lo anteriormente mencionado y conociendo la evolución trascendental que tendrá en nuestro país el proceso de desalación de agua marina a través de la tecnología de ósmosis inversa, es crucial que este proceso sea descrito a detalle e identificado matemáticamente para que luego se establezca un sistema de control eficiente, donde se puede utilizar controladores convencionales o avanzados.

3.2.4 Antecedentes referenciales nacionales e internacionales

Dentro de la industria, la automatización es un concepto que se usa cuando un proceso o parte de este, se desarrolla sin la intervención del ser humano para ahorrar tiempo y/o dinero (Agudelo et al., 2020). Inició en la antigüedad, donde se realizaron los primeros sistemas de control que sirvieron para el control de nivel de líquido y caudal utilizando un flotador (Figura 10), de tal manera que, si el nivel baja, el caudal de alimentación del depósito se incrementa y cuando el nivel sube, el caudal disminuye y se corta de ser necesario (Arántegui, 2011)

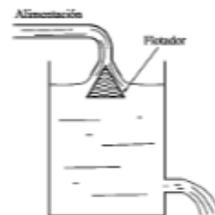


Figura 10

Ejemplo de control de nivel de líquido y caudal usado en la antigüedad.

A principios del siglo XX, la pujante revolución industrial marcó un hito en la historia de la automatización, buscando optimizar la producción y aumentar la eficiencia; inicialmente se basaba en elementos mecánicos y electromecánicos: motores, temporizadores, contadores, relés, etc. En los años 60, la industria automotriz propicio que se empezaran a utilizar los primeros dispositivos electrónicos llamados Controladores Lógicos Programables (PLCs) para controlar procesos secuenciales (Vallejo et al., 2005) y en los 70's apareció el microprocesador, lo que permitió desarrollar los primeros ordenadores digitales. Las mejoras continuaron en los años 80, dando paso a técnicas de control complejas (PID, inteligente, fuzzy) y múltiples lenguajes de comunicación. (Agudelo et al., 2020).

En los últimos años se ha ido mejorando la instrumentación en los procesos, desarrollando nuevos sensores basados en espectroscopia, infrarrojos, etc., ello es importante para obtener información útil para el control tanto básico como avanzado coherente con el proceso y para la posterior elección de los criterios de optimización que tengan en cuenta los costos y que respeten la calidad y otros factores de la producción (De Prada, 2004). Es decir, el control de los procesos industriales y la optimización de éstos, se puede abordar desde todos los niveles de la empresa (Figura 11).

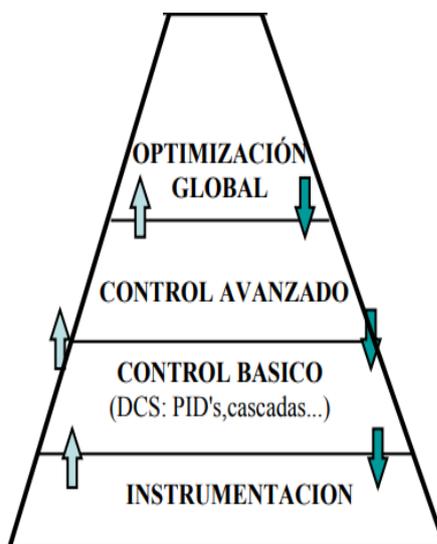


Figura 11

El control y optimización se enfoca desde todos los niveles.

Los controladores industriales se clasifican en básicos y avanzados. Su elección depende del cumplimiento de los siguientes requisitos: garantizar la estabilidad y ser

robusto frente a perturbaciones y errores en los modelos; ser lo más eficiente posible, según un criterio preestablecido y ser fácilmente ejecutable y cómodo de operar en tiempo real (Gutiérrez, 2017).

Los controladores básicos se clasifican de acuerdo con las acciones de control:

1. Dos posiciones o de encendido y apagado (on/off)
2. Proporcionales
3. Proporcionales – integrales
4. Proporcionales – integrales - derivativos (PID)

Entre 1750 y 1788, la ingeniería dio un paso crucial en el diseño de los primeros controladores mecánicos con retroalimentación proporcional, posteriormente se descubrió la acción integral. En 1911, Elmer Sperry desarrolló el primer controlador real de tipo PID y Nicolas Minorsky propuso la aplicación de este controlador en los sistemas de conducción automática de los buques de la marina estadounidense, emergiendo así la forma actual del controlador PID (Flugge -Lotz, 1971). Desde ahí, el controlador PID ha sobrevivido a muchos cambios de tecnología, que van desde la neumática a los microprocesadores, pasando por los tubos de vacío, los transistores, y los circuitos integrados (Rivas-Perez et al., 1987).

El controlador PID es el algoritmo de control más común, representa la implementación simple de la idea de retroalimentación y es la solución más frecuente frente a los problemas prácticos de control; con el transcurrir de los años, también se ha convertido en un banco de pruebas para la comparación con nuevas ideas en control y debido a su extendido, hay todavía beneficios significativos en mejorar la práctica de este control (Rojas, 2016).

Para mejorar el comportamiento del control básico, se dispone de una amplia gama de técnicas de control no convencionales que pueden utilizarse, tales como: control selectivo, en cascada, de relación, feedforward, etc. También, en los últimos años se están implementando técnicas como el control PID avanzado, control predictivo, control adaptativo, control neuronal, etc.

Por todo lo expuesto, la automatización aplicada a procesos industriales ha ido evolucionando gracias al empleo de los PLCs y ello ha permitido aumentar la producción, mejorar la calidad de los productos, reducir costos, cumplir con la legislación medioambiental, etc. (De Prada, 2004); actualmente, se tiene tecnologías avanzadas de control que permiten el control casi absoluto de la evolución de un proceso (Medina et al., 2021), donde se cuenta con salas de control con sistemas de control distribuido (DCS), PLCs e incluso elementos para el control avanzado. Sin embargo, como mecanismo de seguridad siempre es necesario conservar la función de modo manual para tener el control directo sobre los actuadores neumáticos de emergencia. (Agudelo et al., 2020).



Figura 12

Sala típica de control.

Por otra parte, el agua un compuesto esencial para la vida y para los sectores productivos, por ende, es un factor trascendental en la economía de un país y debido a su inminente escasez, existe una preocupación por buscar tecnologías complementarias para la obtención de agua de fuentes no convencionales como por ejemplo el agua de mar. Alrededor de 1940 se desarrolló la primera tecnología que se utilizó con miras a producir agua apta para el uso doméstico, se trata de la destilación multiefecto (MED) con tubos sumergidos y fue en Kuwait, Aruba y las Antillas Holandesas que se lograron obtener los destiladores pioneros con una capacidad de 1 o 2 metros cúbicos por día, diseñados para su uso en embarcaciones de pequeño porte. En 1953, Charles Reid propuso por primera vez la ósmosis inversa para quitarle la sal

al agua marina para que se pueda beber, la cual al ser revisada por la Oficina de Aguas Salinas de Estados Unidos, se pudo notar la carencia de una membrana que permita realizar el proceso de forma eficiente; este inconveniente se pudo solucionar en 1959 con la construcción de una membrana compuesta de acetato de celulosa realizada por Reid y E. J. Breton y posteriormente entre 1960 a 1962, S. Loeb y S. Sourirajan descubrieron que se mejoraba el proceso si la membrana se realizaba en forma asimétrica en lugar de homogénea. La primera planta comercial vio la luz en 1965, donde se pudo implementar la técnica de desalinización de agua mediante ósmosis inversa en Coalinga, California.

Actualmente, a nivel mundial, existen alrededor de 6500 plantas instaladas para la desalinización mediante ósmosis inversa, con un el 66% de estas plantas tienen como fuente de abastecimiento al agua de mar; asimismo, la distribución del agua desalinizada se inclina hacia el sector municipal con un 77%, mientras que el sector industrial recibe el 23% restante. Estados Unidos se destaca como el país con la mayor cantidad de plantas instaladas, ya que tiene alrededor de 1565. Arabia Saudita también se destaca y Japón cuenta con cerca de 1311 plantas instaladas. España con aproximadamente 648 plantas instaladas. En América Latina, la desalación de agua marina se utiliza desde fines de 1800 y ahora es uno de los mayores mercados emergentes, por ejemplo, en Costa Rica se ha instalado una planta de desalinización en la selva tropical, en Chile se cuenta con plantas desalinizadoras operadas por empresas mineras en Arica y Antofagasta desde 1998, en México existen 300 plantas desalinizadoras operativas y una nueva planta de desalinización está en construcción en Brasil para abastecer a un fabricante de acero y tendrá una capacidad de 12000 m³/día que irá incrementándose hasta llegar a una capacidad final de 36000 m³/día; tras su finalización, esta planta se posicionará como la mayor instalación desalinizadora de agua marina por ósmosis inversa en América del Sur.

El Perú ha implementado plantas desalinizadoras para abastecer agua potable a la población, irrigar tierras agrícolas y satisfacer las necesidades hídricas de la industria minera, tales como: la planta desalinizadora de la Minera Milpo (Ica) con una producción de 90 L/s, la planta desalinizadora de la mina de fosfatos Bayóvar (Piura) con una producción normal de 204.3 m³/h. Dos regiones del país, el Valle de Virú en

Trujillo y en la zona de Majes en Arequipa, se benefician de plantas desaladoras para el desarrollo de la agricultura. Asimismo, el Proyecto Provisur aprovecha la desalación de agua marina para abastecer de agua potable a 100000 residentes de los distritos de Punta Hermosa, Punta Negra, San Bartolo y Santa María del Mar, en la zona sur de Lima. Esta planta desalinizadora tiene una capacidad de producción de 34560 m³/día; adicionalmente, ya se ha anunciado la construcción de seis plantas desalinizadoras en Perú financiadas por el Estado, dos proyectos se realizarán en el Callao y uno, en cada caso, en las regiones de Moquegua, Lambayeque, Arequipa y Piura.

3.2.5 Objetivo general y específicos

i. Objetivo general

Seleccionar una unidad de ósmosis inversa y diseñar controladores óptimos.

ii. Objetivos específicos

- Caracterizar e identificar el comportamiento de un sistema de ósmosis inversa.
- Diseñar controladores adecuados y evaluar su desempeño en el control de un sistema de ósmosis inversa.

3.3. Marco conceptual y teórico de los conocimientos técnicos requeridos

Esta área especializada de la ingeniería, conocida como instrumentación y control de procesos, se caracteriza por la convergencia de distintas ramas como la automatización, la química, la informática, entre otros, para ello hace uso de los siguientes conceptos:

1. Instrumentación: Esta área de conocimiento, reúne las ciencias y tecnologías necesarias para cuantificar magnitudes físicas y químicas para obtener información utilizada por los Sistemas de Control Automático.



Figura 13

Instrumentos de medición y control.

2. Sistema de medición: Son todos los elementos constitutivos de un instrumento que permiten transformar una señal física o química en una señal.
3. Señal: constituye una representación física cuantificable de un fenómeno o magnitud, ésta puede ser constante en el tiempo o variable. El equipo que lo emite se denomina transmisor y el que lo recibe se denomina transductor.
4. Controladores: Son dispositivos que funcionan como un comparador y un actuador, ya que compara el valor deseado o de referencia con el valor real medido, calcula el error y genera una señal para corregirlo. El método que emplea el controlador para generar la señal de control recibe el nombre de acción de control.



PLC Logo
Siemens



PLC Zelio
Schneider



Micrologix 1000-1100
Allen Bradley



PLC Fatek FBs



PLC S7-1200 Siemens



PLC FX Mitsubishi



Micrologix 1400 Allen Bradley



PLC S7-1500 Siemens



PLC Modicom M340 Schneider Electric

Figura 14

Ejemplos de PLC (Controlador Lógico Programable).

5. Sensor: Este dispositivo convierte una magnitud física o química en una señal medible que representa el valor de dicha magnitud.



Figura 15

Sensores industriales.

6. Precisión: Capacidad de un instrumento de generar el mismo valor al realizar varias mediciones para la magnitud medida, aplicado bajo las mismas condiciones.

7. Exactitud: Aptitud de un instrumento para generar mediciones que se acerquen al valor verdadero de la cantidad que se evalúa

3.3.1 Sistema

Un sistema es una colección compleja de elementos altamente relacionados y que realizan un objetivo determinado (Valdivia, 2012), puede ver afectado su funcionamiento por variables de entrada que pueden ser variables de control o perturbaciones y de ellas van a depender las variables de salida.

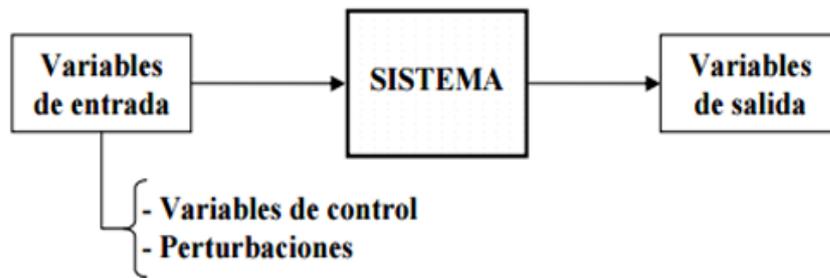


Figura 16

Esquema general de un sistema.

Las perturbaciones pueden tener carácter aleatorio (ruido) o determinista (interferencias).

La definición completa del sistema se logra mediante el desarrollo, prueba y validación de un modelo preciso, basado en ecuaciones físicas o a través del concepto de caja negra donde se analizan las características del sistema únicamente en términos de las variables de entrada y las variables de salida. El modelo del sistema es una expresión temática llamada función de transferencia del sistema, el cual permite explicar cuantitativamente el comportamiento dinámico del sistema ante cualquier tipo de excitación temporal (Valdivia, 2012).

3.3.2 Sistemas de control

Un sistema de control que se caracteriza por contar con elementos (sensores, controlador y actuador) que influyen en su funcionamiento, su finalidad es conseguir mediante la manipulación de las variables de control, un dominio sobre las variables de salida, de modo que estas alcancen unos valores predeterminados, independientemente de las perturbaciones (Gutiérrez, 2017). Se clasifican en:

3.3.2.1 Sistemas de control en lazo abierto

Son aquellos que actúan sobre el sistema (planta o proceso) sin considerar el valor de la señal de salida ni compararla con la señal de entrada, en presencia de perturbaciones que no se encuentren en el rango admitido, no se realiza el control adecuado.

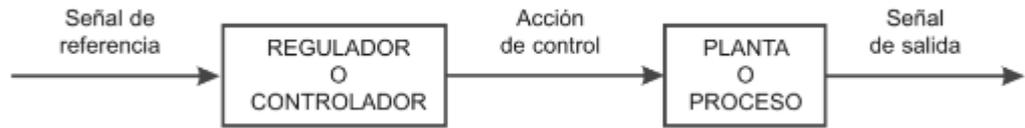


Figura 17

Sistema de control en lazo abierto.

3.3.2.2 Sistema de control en lazo cerrado

Son aquellos sistemas en que la señal de salida se confronta con la señal de referencia para generar una señal de error, la cual alimenta al controlador, quien a su vez actúa sobre el sistema para minimizar el error, llevándolo al valor deseado. Se caracterizan por ser menos sensibles a las perturbaciones.



Figura 18

Sistema de control en lazo cerrado.

3.3.3 Diagrama de bloques

Se utilizan para mostrar gráficamente la función que realiza cada componente del sistema de control utilizado y el flujo de señales.

La flecha que apunta hacia el bloque simboliza la señal de entrada, la cual ingresa al bloque para ser procesada o transformada y la señal de salida con la flecha que sale del bloque, además en el interior del bloque se encuentra la función de transferencia del componente que representa.

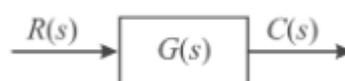


Figura 19

Elemento del diagrama de bloques.

La función de transferencia determina la relación matemática entre el valor de la señal de salida y la magnitud de la señal de entrada del bloque: $C(s) = R(s).G(s)$.

Para un sistema de control en lazo cerrado se tendría:

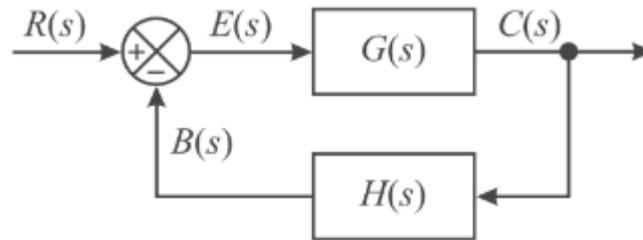


Figura 20

Sistema de control en lazo cerrado usando diagrama de bloques.

En este diagrama, se utilizan las siguientes notaciones: $R(s)$ para la señal de referencia, $C(s)$ para la señal de salida; $B(s)$ para la señal de realimentación, $E(s)$ para la señal de error; $H(s)$ para la función de transferencia de la cadena de feedback y $G(s)$ para la función de transferencia del sistema/planta/proceso.

3.3.4 Controlador proporcional (P)

Considerando el siguiente sistema implementado en configuración de lazo cerrado con retroalimentación:

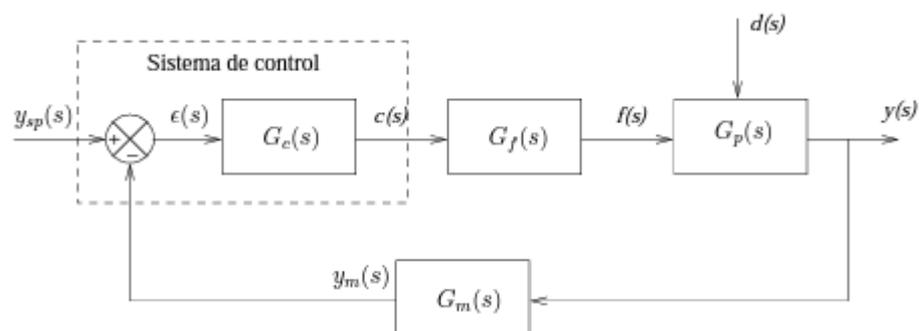


Figura 21

Funciones de transferencia que intervienen en un lazo de control por retroalimentación.

En el caso de un controlador proporcional, la acción de control se determina en función de la magnitud del error:

$$c(t) = K_c \cdot \epsilon(t) + C_s,$$

En esta ecuación, K_c representa la ganancia proporcional del controlador y C_s , por otro lado, es el bias del controlador que define el valor de la acción de control cuando el error es nulo. La ganancia del controlador también puede expresarse utilizando la Banda proporcional (BP), un porcentaje que indica la sensibilidad del controlador ante cambios en el error como: $BP = \frac{100}{K_c}$ y típicamente se encuentra entre 1 y 500. Para simplificar el análisis, se introduce la variable de desviación: $c'(t) = c(t) - c_s$. Al aplicar la transformada de Laplace a la primera expresión, se obtendría:

$$G_c(s) = K_c$$

3.3.5 Controlador proporcional + integral (PI)

En este tipo de controlador, la acción de control viene definida por:

$$c(t) = K_c \cdot \epsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \epsilon(t) dt + C_s$$

En esta ecuación, τ_I es el tiempo integral o tiempo de reset y se puede encontrarse entre 0.1 min y 50 min; K_c es la ganancia del controlador y a la relación: $\frac{K_c}{\tau_I}$ se le conoce como la ganancia integral K_I . Además:

$$\frac{K_c}{\tau_I} \int_0^{\tau_I} \epsilon dt = \frac{K_c}{\tau_I} \epsilon \tau_I = K_c \epsilon$$

La función de transferencia si el error es constante en el tiempo es:

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} \right)$$

El controlador integral opera de manera continua mientras exista un error en la salida del sistema, incrementando gradualmente la acción integral para corregir dicho error.

3.3.6 Control proporcional + derivativo (PD)

La acción de control en este tipo de controlador genera una acción de control proporcional a la tasa de cambio del error, como se expresa en la siguiente ecuación:

$$c(t) = K_c \cdot \epsilon(t) + K_c \tau_D \frac{d\epsilon(t)}{dt} + C_s$$

Teniendo a τ_D como la constante de tiempo derivativa y la ganancia derivativa K_D es $K_c \tau_D$. Además, para un error próximo a cero, la función de transferencia para este controlador es:

$$G_c(s) = K_c(1 + \tau_D s)$$

3.3.7 Control proporcional + integral + derivativo (PID)

Es la combinación de las tres acciones de control mencionadas anteriormente y una idea simple de la idea de retroalimentación. Su acción de control está dada por:

$$c(t) = K_c \cdot \varepsilon(t) + \frac{K_c}{\tau_I} \int_0^t \varepsilon(t) dt + K_c \tau_D \frac{d\varepsilon(t)}{dt} + C s$$

Y su función de transferencia es:

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right)$$

Estos términos representan el pasado mediante la acción integral del error, el presente con la acción proporcional y el futuro por una extrapolación lineal del error (Åström et al., 2009), tal como se muestra en la siguiente figura:

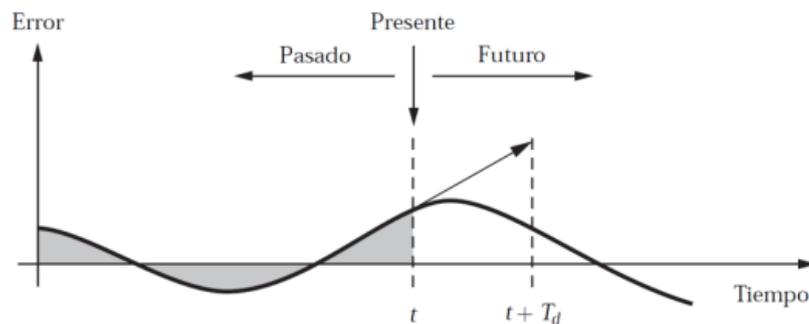


Figura 22
Representación del controlador PID.

3.3.8 Sintonización de controladores

La sintonización de los controladores PID se basan en las reglas de Ziegler – Nichols obtenidas en base a una respuesta experimental y para ello seguir los siguientes pasos:

- Desactivar o eliminar la acción integral y derivativa del controlador.
- Aumentar gradualmente la ganancia proporcional hasta que el sistema entre en un estado de oscilaciones sostenidas. Observar el valor de la ganancia proporcional en este punto, que se denomina ganancia crítica (K_{cr}).
- Calcular o mida el periodo crítico (P_{cr}) correspondiente a la ganancia crítica.
- Estimar los parámetros del controlador PID, según:

Tabla 4

Relación de parámetros para sintonización de controlador PID.

Tipo de controlador	Kp o Kc	τ_I	τ_D
P	0.5 Kcr	∞	0
PI	0.45 Kcr	$\frac{1}{2} P_{cr}$	0
PID	0.6 Kcr	0.5 Pcr	0.125 Pcr

3.3.9 Estabilidad de sistemas

El requisito indispensable para que en un sistema lineal estacionario para toda entrada acotada le corresponda una salida acotada (definición de BIBO estable) es que ninguno de sus polos se encuentre en la parte derecha del plano complejo y que la función de transferencia sea propia. Por lo tanto, para determinar si un sistema es estable, es necesario analizar las raíces (polos) del polinomio denominador (ecuación característica) de su función de transferencia. Estas raíces deben ubicarse en el semiplano izquierdo del plano complejo, o bien deben cumplirse ciertas condiciones sobre los coeficientes del polinomio para garantizar su estabilidad.

3.3.10 Criterio de estabilidad de Routh Hurwitz

Supongamos que la ecuación característica de la función de transferencia de un sistema lineal está dada por:

$$T(s) = a_0 s^n + a_1 s^{n-1} + a_2 s^{n-2} + \dots + a_{n-1} s + a_n$$

Todas las raíces de $T(s)$ deben tener parte real negativa para que cumplan con el requisito de la estabilidad, para ello se necesita que sean positivos todos los coeficientes. Es decir, si alguno de los coeficientes no es positivo sino cero o negativo, entonces se tendrán polos en el semiplano derecho y el sistema será inestable.

Por otro lado, para garantizar la estabilidad de un sistema, es crucial que todos los elementos de la primera columna de la tabla de Routh, la cual se construye a partir de los coeficientes del sistema, sean positivos.

Tabla 5*Tabla de Routh.*

s^n	a_0	a_2	a_4	\dots
s^{n-1}	a_1	a_3	a_5	\dots
s^{n-2}	b_1	b_2	b_3	\dots
s^{n-3}	c_1	c_2	c_3	\dots
\dots	\dots	\dots	\dots	\dots
s^1	d_1	d_2	d_3	\dots
s^0	e_1	e_2	e_3	\dots

Donde:

$$b_1 = \frac{-\begin{vmatrix} a_0 & a_2 \\ a_1 & a_3 \end{vmatrix}}{a_1}; \quad b_2 = \frac{-\begin{vmatrix} a_0 & a_4 \\ a_1 & a_5 \end{vmatrix}}{a_1}; \quad b_3 = \frac{-\begin{vmatrix} a_0 & a_6 \\ a_1 & a_7 \end{vmatrix}}{a_1}; \quad \dots$$

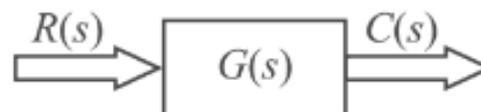
$$c_1 = \frac{-\begin{vmatrix} a_1 & a_3 \\ b_1 & b_2 \end{vmatrix}}{b_1}; \quad c_2 = \frac{-\begin{vmatrix} a_1 & a_5 \\ b_1 & b_3 \end{vmatrix}}{b_1}; \quad c_3 = \frac{-\begin{vmatrix} a_1 & a_7 \\ b_1 & b_4 \end{vmatrix}}{b_1}; \quad \dots$$

...

En otras palabras, la estabilidad de un sistema está ligada a la configuración de signos en la primera columna de la Tabla de Routh. Una configuración positiva en esta columna indica que el sistema es estable y todas las raíces de $T(s)$ están en el semiplano izquierdo. Por el contrario, una configuración con elementos negativos implica inestabilidad y la presencia de raíces de $T(s)$ en el semiplano derecho, cuyo número debe coincidir con los cambios de signo en la columna para que el sistema sea analizable.

3.3.11 Sistemas multivariables

Son aquellos sistemas con múltiples entradas y/o múltiples salidas y se representa así:

**Figura 23**

Representación de un sistema multivariable mediante diagrama de bloques.

Se cumple la ecuación matricial: $C(s) = G(s) \cdot R(s)$, donde: $C(s)$ es la transformada del vector de salida de orden $q \times 1$, $R(s)$ es la transformada del vector de entrada de orden $p \times 1$ y $G(s)$ es la matriz de transferencia de orden $q \times p$. Un sistema típico con el que podemos ilustrar este concepto es aquel que tiene dos señales de entrada y dos señales de salida:

$$\begin{bmatrix} C_1(s) \\ C_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{11}(s) & G_{12}(s) \\ G_{21}(s) & G_{22}(s) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} R_1(s) \\ R_2(s) \end{bmatrix}$$

Siendo la representación con diagrama de bloques la siguiente:

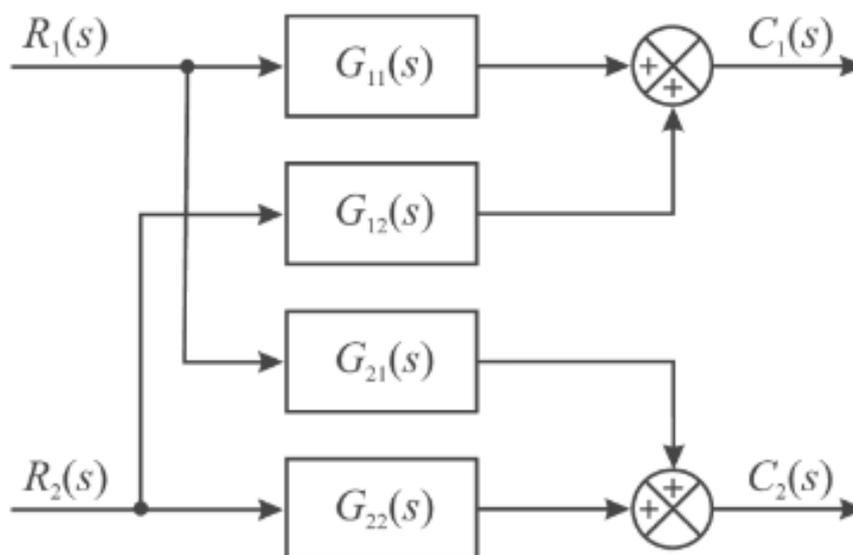


Figura 24

Representación detallada de un sistema con dos entradas y dos salidas.

3.3.12 Criterio de desempeño de un sistema de control

El criterio de desempeño para representar las características de un sistema de control en el dominio del tiempo se realiza utilizando como base una función de entrada escalón unitario y usando estos conceptos:

- Sobrepaso máximo (M_p): Es la magnitud del valor máximo que la curva de respuesta alcanza, tomando como referencia una entrada de valor uno.

- b) Tiempo de retardo (T_d): Es el intervalo que tarda la respuesta del sistema en llegar por primera vez al 50% de su valor final.
- c) Tiempo de asentamiento (T_s): Es el intervalo que tarda la respuesta del sistema en estabilizarse dentro del ± 2 o 5% de su valor final, luego de las oscilaciones transitorias.
- d) Tiempo de levantamiento (T_r): Es el intervalo que tarda la respuesta del sistema en ascender desde el 10% hasta el 90% de su valor final.
- e) Tiempo máximo o pico (T_p o $T_{m\acute{a}x}$): Es el intervalo que transcurre desde el inicio de la respuesta del sistema hasta el momento en que alcanza su valor máximo absoluto.

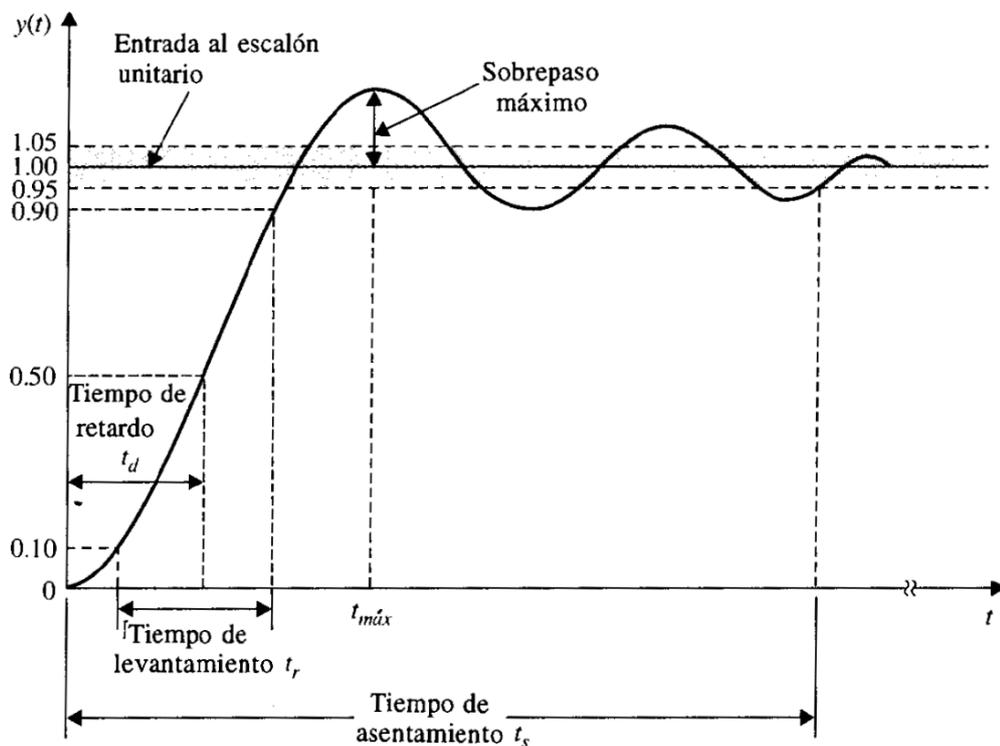


Figura 25

Respuesta del sistema de control.

3.3.13 Desalinización

Este proceso implica la extracción de sales disueltas del agua de mar o aguas salobres, obteniendo agua de calidad adecuada para consumo humano, aplicaciones industriales o agricultura; es decir, el objetivo es reducir la concentración de los electrolitos disueltos en el agua de ingreso, ya sea separando el agua de las sales

disueltas en ella o separando las sales de la solución y en base a ello se pueden identificar los procesos indicados en la Tabla 4.

Tabla 6

Clasificación de los procesos de desalinización.

Tipo de separación	Energía utilizada	Proceso	Sistema
Agua de sales	Térmica	Evaporación	Destilación solar Destilación súbita flash Destilación multiefecto Termocompresión de vapor
	Frío	Cristalización	Formación de hidratos Congelación
	Mecánica	Evaporación Filtración	Compresión mecánica de vapor Ósmosis inversa
Sales del agua	Eléctrica	Filtración selectiva	Electrodialisis
	Química	Intercambio	Intercambio Iónico

La desalinización del agua marina se realiza principalmente mediante dos métodos principales: Sistemas térmicos que emplean combustibles fósiles y sistemas de membranas y alta presión. Ambos métodos producen agua desalinizada y un subproducto de salmuera.

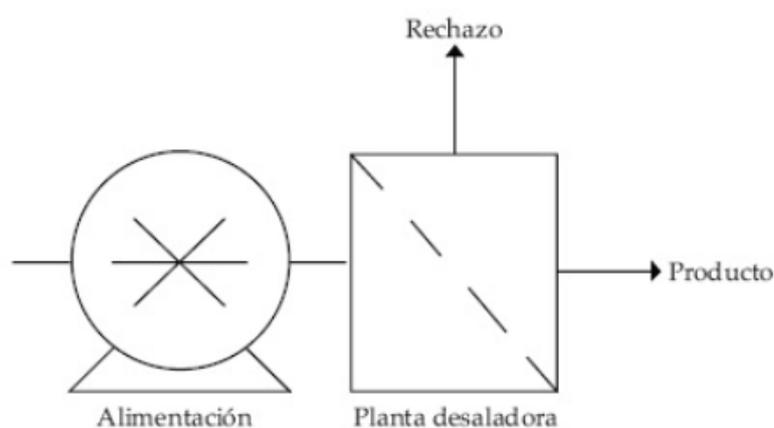


Figura 26

Esquema de un proceso de desalinización.

3.3.14 Ósmosis Inversa

En contraposición a la ósmosis natural, este proceso induce al movimiento de la solución menos concentrada hacia la solución más concentrada, aprovechando una diferencia en la energía potencial, y a través de una membrana semipermeable, hacia la más concentrada, para ello se requiere aplicar una fuerza externa. De igual modo, con este proceso se puede separar el agua de mar, ejerciendo una presión que supere a la presión osmótica del agua salada e induce la separación de las sales disueltas, generando agua con baja concentración de sales y una salmuera concentrada.

Para desalinizar el agua marina mediante ósmosis inversa, se capta agua de mar y se le aplica un pretratamiento físico (filtros de arena y carbón activado) y químico (dosificación de pH y antiincrustantes) para garantizar el correcto funcionamiento de la membrana. Tras el pretratamiento, el agua se dirige hacia una bomba de presión y los bastidores de ósmosis inversa. Finalmente se realiza un postratamiento para desinfectar el agua y acondicionarla de acuerdo al uso final del agua y a la calidad requerida (usando cloración, ozonación o lámparas UV). A su vez, gracias a la configuración en serie o en paralelo de las membranas, las plantas de ósmosis inversa ocupan un área considerablemente menor que los sistemas térmicos, lo que representa una ventaja importante.

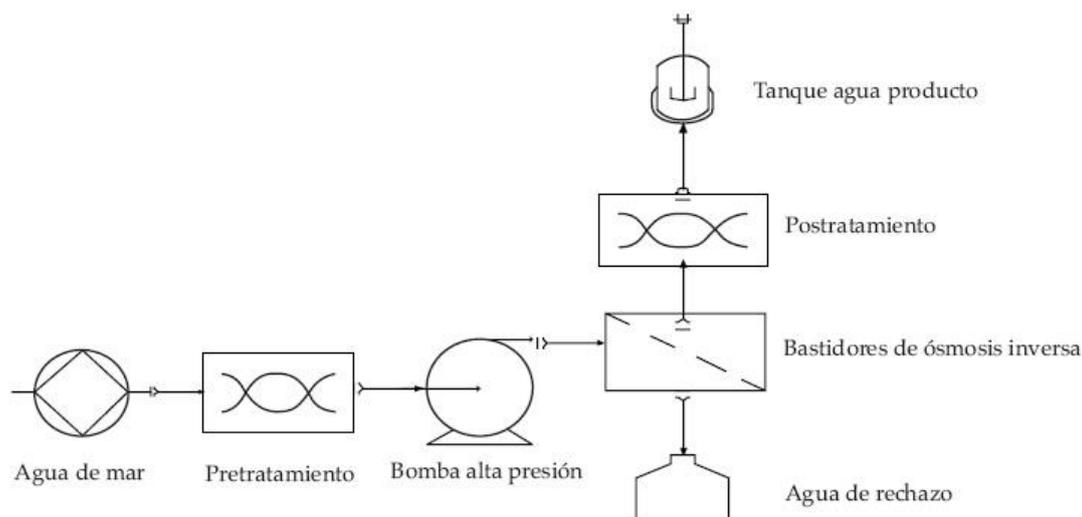


Figura 27

Esquema general de una planta de ósmosis inversa.

3.4 Propuesta y contribuciones

3.4.1 Objetivos y justificación del uso de las técnicas propuestas

Como ya se señaló, una planta desaladora de agua marina inicia con un pretratamiento del agua salada, luego atravesará un proceso de bombeo que permitirá que el agua mencionada alcance una presión mayor a la presión osmótica, después pasará a través de una membrana y se culminará con un postratamiento del agua desalinizada. Durante todo el proceso mencionado y tomando como sistema una unidad de ósmosis inversa, generalmente se toma en cuenta para su estudio y modelamiento, dos variables de entrada y dos variables de salida. En la ósmosis inversa, el pH y la presión de alimentación se ajustan para regular el flujo y la conductividad del permeado.

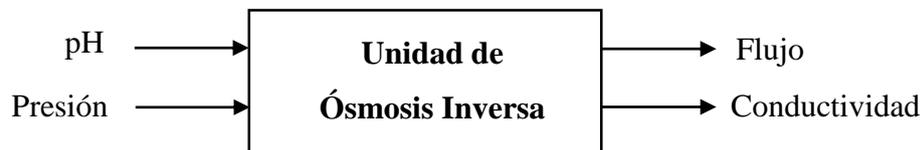


Figura 28

Esquema de las variables involucradas en una unidad de ósmosis inversa.

Para lograr un control óptimo en una planta desaladora de agua de mar, el diseño del controlador se desarrolla en tres fases: selección de la planta, identificación del modelo y finalmente, su evaluación de desempeño. La selección del sistema de ósmosis inversa abarca tomar datos de las variables involucradas y la identificación del proceso mediante modelamiento matemático o a través del modelo de caja negra, buscando obtener la representatividad dinámica del proceso real. A continuación, se procede al diseño del controlador idóneo para el control del sistema de ósmosis inversa, determinando el tipo de controlador más adecuado en función de las características específicas del sistema (controlador on/off, controlador en cascada, controlador PID básicos, controlador PID robustos, controlador predictivo, entre otros) y la sintonización correspondiente. Por último, se evalúa de forma exhaustiva del desempeño del controlador diseñado.

En pocas palabras, es importante realizar el control eficiente en la desalación de agua marina empleando ósmosis inversa porque es fundamental garantizar una producción constante de agua que mantenga una calidad satisfactoria, esta calidad se ve representada

por la conductividad del permeado y puede definir su uso para el consumo humano o industrial.

3.4.2 Cálculo y determinaciones de indicadores de gestión para evaluar y monitorear la propuesta

De acuerdo con lo señalado anteriormente, se desarrollarán tres etapas:

3.4.2.1 Selección de la planta desaladora de agua marina por ósmosis inversa

En la selección de la unidad de ósmosis inversa, se involucran los siguientes parámetros:

a) **pH:** El potencial de hidrógeno sirve como medida para determinar si una solución es ácida, neutra o alcalina, reflejando la concentración de iones de hidrógeno en ella. Es un parámetro crucial en la desalinización de agua marina por ósmosis inversa. Se monitorea y ajusta cuidadosamente en el agua de alimentación para garantizar un funcionamiento óptimo y obtener agua de alta calidad. El intervalo del pH de entrada del sistema de ósmosis inversa oscila entre de 4 y 9.

b) **Presión:** En la desalación de agua marina por ósmosis inversa, la presión juega un papel fundamental. Este parámetro, que representa la fuerza ejercida sobre una superficie, se mide y controla rigurosamente en el agua de alimentación para asegurar que se mantenga dentro del rango óptimo (entre 180 y 220 psi), lo que optimiza la eficiencia del proceso y la calidad del agua desalinizada.

c) **Flujo:** Es el movimiento de un fluido, Este parámetro se medirá en el agua denominada permeado del sistema de ósmosis inversa (F). El flujo promedio de salida de es de 1 gpm o 5 m³/día.

d) **Conductividad:** Es la propiedad de un material o sustancia para transportar y transferir energía, en este caso será eléctrica. Este parámetro se medirá en el agua denominada permeado del sistema de ósmosis inversa (C). La conductividad puede

relacionarse con la salinidad del producto a través de la relación de que 1 ppm equivale a 2 $\mu\text{S}/\text{cm}$. El intervalo de salinidad que se obtiene normalmente es de 30 a 150 ppm.

La recopilación de datos en la entrada de la planta de ósmosis inversa y en la salida, es crucial para evaluar su funcionamiento y optimizar su desempeño. Para ello, se introducen diversas señales de entrada y se registran las señales de salida resultantes. El diagrama utilizado en la recolección de datos es el siguiente:

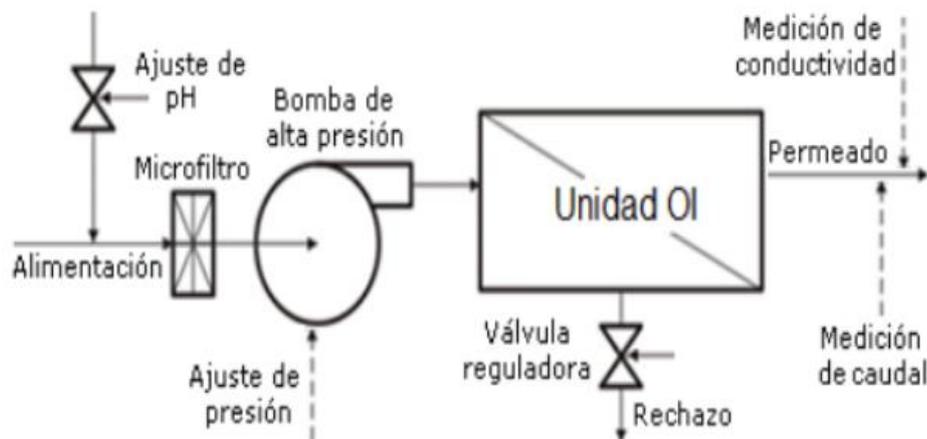


Figura 29

Diagrama utilizado para la recolección de datos.

La presión y el pH del agua de alimentación en la ósmosis inversa se controlan mediante mecanismos específicos: se podrían ajustar parámetros como la velocidad del motor de la bomba de alta presión y la posición de la válvula reguladora del rechazo para controlar la presión o la configuración de la válvula dosificadora de ácido para regular el pH.

Se realizan las corridas experimentales para obtener la curva estática de funcionamiento y posteriormente se excita el sistema con una señal escalón para determinar su comportamiento dinámico. Con los datos obtenidos y usando el modelo de caja negra se realiza la identificación del sistema de ósmosis inversa utilizando el Toolbox de Identificación de Matlab, tal como se muestra en el Anexo A.

El sistema se representa por el siguiente modelo matemático lineal:

$$\begin{bmatrix} F \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_{p11} & G_{p12} \\ G_{p21} & G_{p22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} P \\ pH \end{bmatrix}$$

Como resultado de la identificación realizada, las funciones de transferencia presentadas a continuación representan la dinámica del sistema en el dominio de Laplace:

$$G_{p11}(s) = \frac{F(s)}{P(s)} = \frac{0.0004619s + 0.031}{(0.54s + 1)(0.1s + 1)}$$

$$G_{p12}(s) = \frac{F(s)}{pH(s)} = 0$$

$$G_{p21}(s) = \frac{C(s)}{P(s)} = \frac{-0.79(0.2s + 1)}{(0.01s + 1)(10s + 1)}$$

$$G_{p22}(s) = \frac{C(s)}{pH(s)} = \frac{-10.67(3.07s - 1)}{(3.4s + 1)(2.6s + 1)}$$

3.4.2.2 Diseño del controlador

En la desalinización por ósmosis inversa, la interacción entre variables de entrada y salida revela un comportamiento multivariable. Una sola variable de entrada, como la presión, puede influir en múltiples variables de salida, como la tasa de permeabilidad y el rechazo de sal: por ello lo primero que se debe realizar es el desacople, lo que va a permitir que este proceso multivariable se controle con controladores de lazo único, en la forma que se expone a continuación:

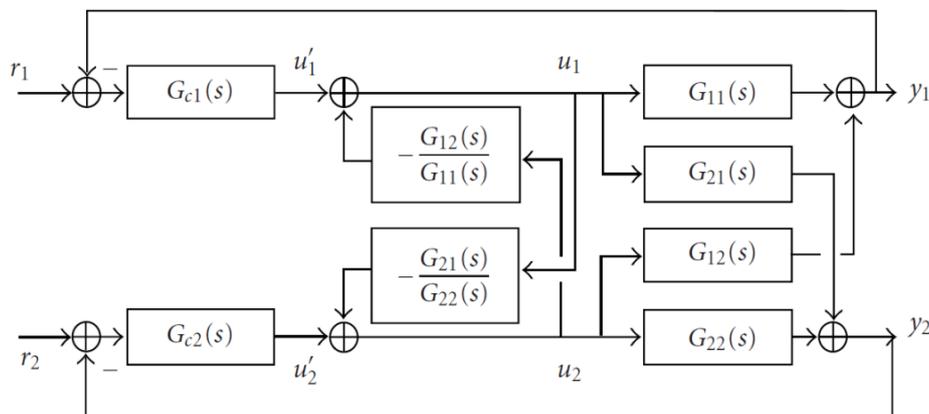


Figura 30

Sistema de control con desacoplamiento.

Es decir, la planta desaladora por ósmosis inversa se puede controlar con dos lazos SISO (single input – single output) independientes, donde se incluirá la implementación de dos controladores PID dedicados, uno para cada lazo, G_{p11} y G_{p22} .

Para el diseño y sintonía de los controladores PID se ajustarán en lazo cerrado y utilizando el método Ziegler Nichols, donde el controlador PID tendrá la siguiente forma para su función de transferencia:

$$G_c(s) = K_c \left(1 + \frac{1}{\tau_I s} + \tau_D s \right)$$

Para aplicar la relación de parámetros mencionada en la Tabla 3, se requiere obtener los valores de la ganancia crítica y del periodo crítico, siguiendo el algoritmo detallado en el apartado 5.4.8, para ello se debe determinar para qué valor de K_p el lazo cerrado es marginalmente estable y ese valor será igual a la ganancia crítica; luego, se calculará la frecuencia crítica y el periodo crítico. Considerando que en lazo cerrado se plantea la siguiente función de transferencia:

$$T(s) = \frac{K_p \cdot G_p(s)}{1 + K_p \cdot G_p(s)}$$

Donde: El denominador de la expresión anterior ($1 + K_p \cdot G_p(s)$) representa la ecuación característica que describe el sistema cuando se trabaja en lazo cerrado.

a) Para el lazo de control G_{p11} (Controlador 1) se tiene que:

$$G_{p11}(s) = \frac{F(s)}{P(s)} = \frac{0.0004619s + 0.031}{(0.54s+1)(0.1s+1)} = \frac{0.0004619s + 0.031}{0.054s^2 + 0.64s + 1}$$

Asimismo, $T_1(s)$ viene dada por:

$$T_1(s) = \frac{K_p \cdot (0.0004619s + 0.031)}{0.054s^2 + 0.64s + 1 + 0.0004619K_p s + 0.031K_p}$$

Del mismo modo, para determinar el valor de K_p que genere que la función $T_1(s)$ sea marginalmente estable se sigue el Criterio de Estabilidad de Routh Hurwitz detallado en el apartado 5.4.10.

La sustitución de s por $j\omega$ en la ecuación característica permite calcular la frecuencia de oscilación crítica (ω_{cr}), que caracteriza la frecuencia natural del sistema:

$$0.054(j\omega)^2 + 0.64j\omega + 1 + 0.0004619K_p j\omega + 0.031K_p = 0$$

$$\text{Operando: } \omega_{cr} = \sqrt{\frac{1+0.031Kp}{0.054}}$$

De igual forma, se calculará el periodo crítico, mediante:

$$P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega_{cr}}$$

La representación del lazo utilizando Simulink – Matlab, se tiene:

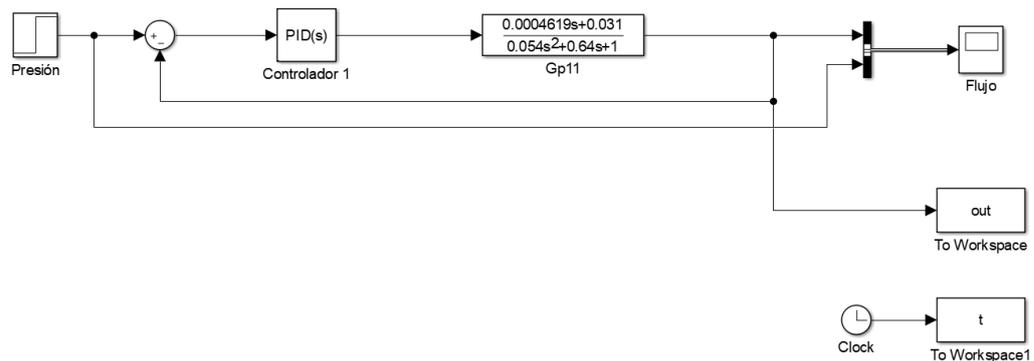


Figura 31

Representación del lazo de control para Gp11.

b) Para el lazo de control Gp22 (Controlador 2) se tiene que:

$$G_{p22}(s) = \frac{C(s)}{pH(s)} = \frac{-10.67(3.07s-1)}{(3.4s+1)(2.6s+1)} = \frac{-32.7569s + 10.67}{8.84s^2 + 6s + 1}$$

Asimismo, $T_2(s)$ viene dada por:

$$T_2(s) = \frac{Kp * (-32.7569s + 10.67)}{8.84s^2 + 6s + 1 - 32.7569Kps + 10.67Kp}$$

Del mismo modo, para determinar el valor de Kp que genere que la función $T_2(s)$ sea marginalmente estable se sigue el Principio de Estabilidad de Routh Hurwitz detallado en el apartado 5.4.10.

La sustitución de s por $j\omega$ en la ecuación característica permite calcular la frecuencia de oscilación crítica (ω_{cr}), que caracteriza la frecuencia natural del sistema:

$$8.84(j\omega)^2 + 6j\omega + 1 - 32.7569Kpj\omega + 10.67Kp = 0$$

$$\text{Operando: } \omega_{cr} = \sqrt{\frac{1+10.67Kp}{8.84}}$$

De igual forma, se calculará el periodo crítico, mediante:

$$P_{cr} = \frac{2\pi}{\omega_{cr}}$$

La representación del lazo utilizando Simulink – Matlab, se tiene:

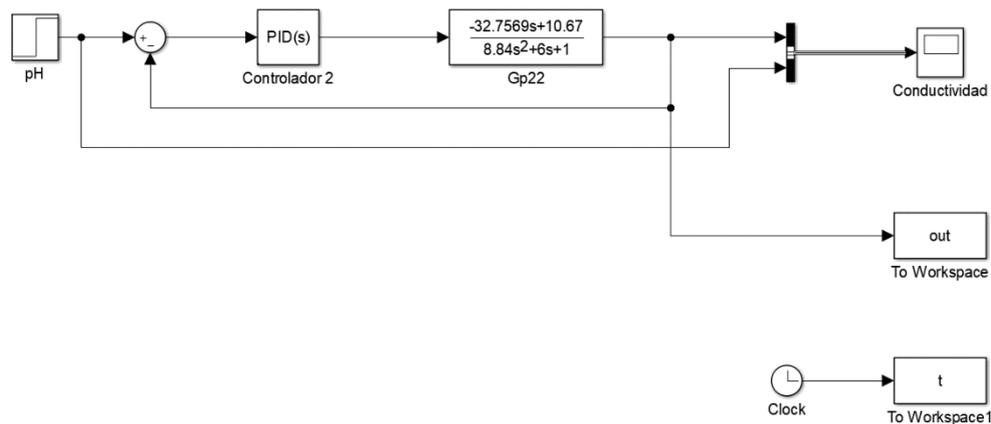


Figura 32

Representación del lazo de control para Gp22.

A continuación, se presenta el esquema del sistema de control diseñado, el cual opera en lazo cerrado y de forma desacoplada.

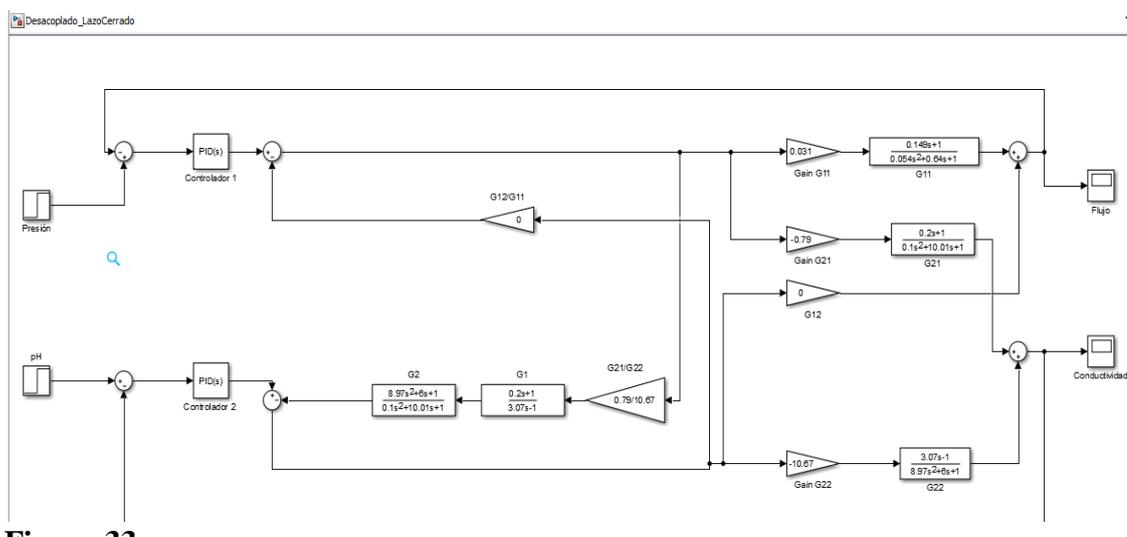


Figura 33

Sistema de control con desacoplamiento y en lazo cerrado.

a. Para el controlador 1:

Utilizando la ecuación característica de la función $T_1(s)$ y operando de acuerdo a lo detallado en 5.4.10:

$$K_{cr} = 92.5$$

Reemplazando:

$$\omega_{cr} = 8.46$$

$$P_{cr} = 0.74$$

Utilizando las relaciones detalladas en la Tabla 3 para un controlador PID:

$$K_p = 55.5$$

$$\tau_I = 0.37$$

$$\tau_D = 0.0925$$

Además, se tiene la siguiente respuesta temporal:

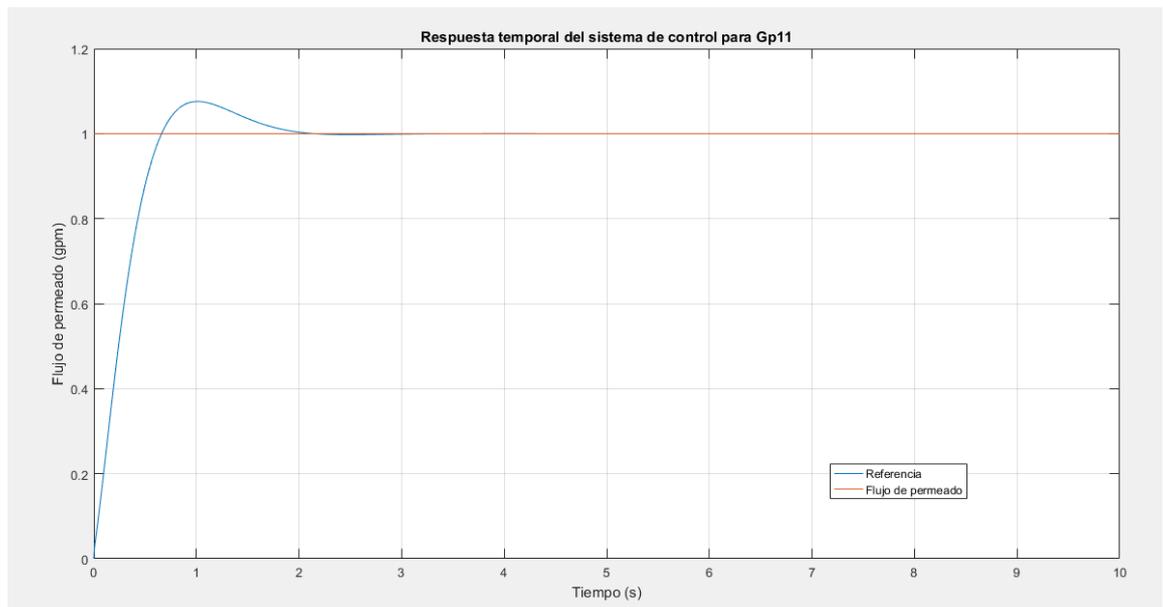


Figura 34

Evolución temporal de la salida del sistema de control para Gp11.

b. Para el controlador 2:

Utilizando la ecuación característica de la función $T_2(s)$ y operando de acuerdo a lo detallado en 5.4.10:

$$K_{cr} = 0.09372$$

Reemplazando:

$$\omega_{cr} = 0.48$$

$$P_{cr} = 13.21$$

Utilizando las relaciones detalladas en la Tabla 3 para un controlador PID:

$$K_p = 0.0562$$

$$\tau_I = 6.605$$

$$\tau_D = 1.6513$$

Además, se tiene la siguiente respuesta temporal:

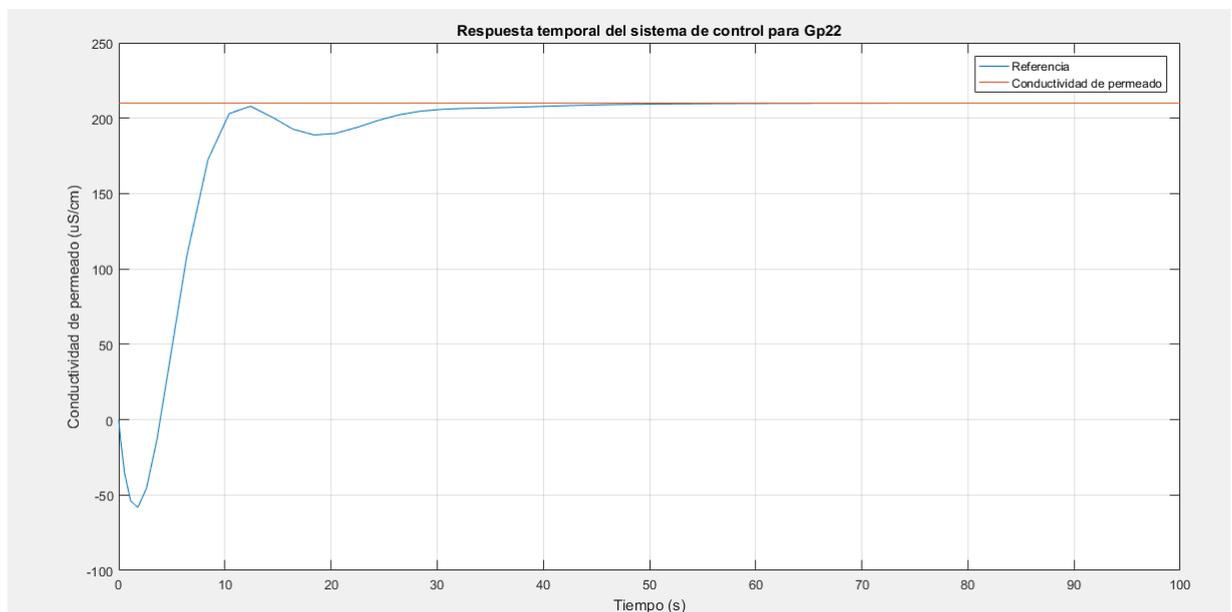


Figura 35

Respuesta temporal del sistema de control para Gp22.

3.4.2.3 Análisis de desempeño

Para realizar el análisis de desempeño de los controladores diseñados, se utilizarán los criterios de desempeño detallados en el apartado 5.4.12; estos conceptos se obtienen utilizando Matlab mediante la función: `stepinfo(out.Data,out.Time)`.

a) Para el controlador 1:

Tabla 7

Valores de los criterios de desempeño para el lazo Gp11.

Criterios de desempeño	
Mp	0.0757
Td	0.2400
Ts	1.6786
Tr	0.4757
Tp/Tmáx	1.0150

b) Para el controlador 2:

Tabla 8

Valores de los criterios de desempeño para el lazo Gp22.

Criterios de desempeño	
Mp	209.9951
Td	6.328
Ts	28.4130
Tr	5.0934
Tp/Tmáx	12.4

3.4.3 Análisis e interpretación de resultados y aportes técnicos de la propuesta de solución

3.4.3.1 Selección de la planta desaladora de agua marina por ósmosis inversa

- Para determinar el rango lineal del sistema se tiene que analizar las curvas estáticas obtenidas cuando se mantienen fijas las variables de entrada a través de la apertura de las válvulas correspondientes y registrando las señales de

salida tanto de flujo como de conductividad cuando éstas hayan alcanzado la estabilidad.

- La curva estática y la función de transferencia del flujo de permeado respecto al pH, confirma que el flujo de permeado permanece constante mientras se mantiene el pH en un valor fijo.
- El experimento con la señal escalón sólo se realiza en el rango lineal de operación del sistema.

3.4.3.2 Diseño del controlador

- En una planta desaladora de agua marina, la conductividad depende del flujo y del pH, por lo cual el sistema se comporta como un sistema multivariable donde una entrada tiene un efecto en múltiples salidas, se puede emplear una técnica denominada desacople para mitigar este problema. El desacople implica la creación de entradas "sintéticas" diseñadas para afectar únicamente una salida específica del proceso.
- Los controladores diseñados son PID; es decir, combinan las acciones proporcional, integral y derivativa.
- Para el controlador 1, el sistema oscila cuando la ganancia proporcional es 92.5 y este valor será la ganancia crítica. Asimismo, utilizando la frecuencia y el periodo crítico es posible determinar los valores de los parámetros necesarios para ajustar el controlador, cuya función de transferencia será:

$$Gc_1(s) = 55.5 \left(1 + \frac{1}{0.37s} + 0.0925 s \right)$$

- Para el controlador 2, el sistema oscila cuando la ganancia proporcional es 0.09372 y este valor será la ganancia crítica. Asimismo, utilizando la frecuencia y el periodo crítico es posible determinar los valores de los parámetros necesarios para ajustar el controlador, cuya función de transferencia será:

$$Gc_2(s) = 0.0562 \left(1 + \frac{1}{6.605s} + 1.6513 s \right)$$

- La evaluación de las simulaciones ejecutadas de los sistemas de control de la planta de ósmosis inversa, empleando los controladores PID diseñados, demuestra que las respuestas temporales son adecuadas, tal como se evidencia en las Figuras 27 y 28.

3.4.3.3 Análisis de desempeño

- Para el controlador 1: cuando la señal de referencia es de 1 gpm, el sobrepaso máximo es de 0.0757 y se produce al 1.0150 s, además la referencia se alcanza en un tiempo de asentamiento de 1.6786 s.
- Para el controlador 2: cuando la señal de referencia es de 210 $\mu\text{S}/\text{cm}$, el pico máximo es de 209.9951 y se produce a los 12.4 s, además la referencia se alcanza en un tiempo de asentamiento de 28.4130 s.

3.4.4 Evaluaciones y decisiones tomadas

3.4.4.1 Selección de la planta desaladora de agua mariana por ósmosis inversa

- En cada caso y/o sistema se define el rango lineal de operación, el cual normalmente se encuentra entre el 20 al 40% de apertura de las válvulas que regulan tanto el pH como la presión.
- La señal con la que se excita el sistema para determinar su comportamiento dinámico es la señal escalón y se evalúa en el rango lineal de operación.

3.4.4.2 Diseño del controlador

- Para controlar el sistema, se emplea un desacoplador perfecto en conjunto con dos controladores de lazo único, lo que permite un control preciso y eficiente.
- Para el diseño y sintonía de los controladores PID se decide utilizar el Método de Ziegler Nichols y el criterio de estabilidad de Routh Hurwitz.

- La modelar y simular los lazos de control y las respuestas temporales de los sistemas de control se realiza mediante el software MATLAB, utilizando específicamente la herramienta Simulink.

3.4.4.3 Análisis de desempeño

- El desempeño de los controladores PID diseñados se evalúa mediante criterios de desempeño que se basan en la respuesta temporal de los sistemas de control.
- La evaluación de los criterios de desempeño puede realizarse manualmente mediante el análisis de la gráfica de respuesta temporal de los sistemas de control o bien utilizando una función específica de MATLAB.

3.4.5 Informes, reportes, instructivos, fichas técnicas y formatos, presentados como resultado de las actividades realizadas

3.4.5.1 Selección de la planta desaladora de agua marina por ósmosis inversa

a) Toma de datos para la curva estática

Tabla 9

Formato para toma de datos para la curva estática.

Apertura de válvula (%)	Flujo de permeado	Conductividad del permeado
0		
5		
10		
15		
20		
25		
30		
35		
40		
45		
50		
55		
60		

3.4.5.2 Diseño del controlador

Tabla 11

Formato para cálculo de parámetros del controlador PID.

Diseño de Controlador	
Ecuación característica:	
Factores críticos	
K_{cr}	
ω_{cr}	
P_{cr}	
Sintonización del controlador PID	
K_p (0.6 K_{cr})	
τ_I (0.5 P_{cr})	
τ_D (0.125 P_{cr})	

3.4.5.3 Análisis de desempeño

Tabla 12

Valores de los criterios de desempeño para el lazo de control.

Criterios de desempeño	
Respuesta temporal del sistema de control	
Sobrepaso máximo (M_p)	
Tiempo de retardo (T_d)	
Tiempo de asentamiento (T_s)	
Tiempo de levantamiento (T_r)	
Tiempo pico ($T_p/T_{m\acute{a}x}$)	

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN DE RESULTADOS E IMPLICANCIAS

4.1 Contribuciones al desarrollo de la empresa

Las labores realizadas por la Ingeniera de aplicaciones químicas e investigación son fundamentales en todas las empresas, y por ello, su trabajo está sujeto a varias inspecciones tanto internas como externas para comprobar que los equipos cumplan con las especificaciones técnicas establecidas en los procesos, mediante la evaluación de tendencias. Asimismo, se promueven la investigación y la innovación, enfocándose en el desarrollo de métodos analíticos instrumentales que incluyen las guías para toma de muestra, preparación de muestra, análisis instrumental y evaluación de resultados, todo de acuerdo al proceso definido y cumpliendo las normas respectivas. En el rol como Investigadora becada de la PUCP, se ha desarrollado una investigación acerca del diseño de diversos controladores avanzados con el objetivo de optimizar el proceso de desalinización del agua mediante el control de las unidades de ósmosis inversa.

Por último, dentro de las organizaciones mencionadas anteriormente, se participó activamente en equipos de seguridad industrial, que incluyen:

- Liderar los equipos de gestión sobre el almacenaje, manipulación y eliminación final de las sustancias o reactivos químicos peligrosos y de gestión integral de residuos sólidos.
- Participar en la identificación, evaluación y control de peligros y riesgos en las prácticas de laboratorio.
- Participar en la identificación y evaluación de aspectos que generan un impacto ambiental en las prácticas de laboratorio.

4.2 Impacto de la propuesta

En la elaboración de este proyecto se ha detallado las labores realizadas como Ingeniera de aplicaciones para equipos especializados de laboratorio y equipos de control ambiental, con el objetivo de analizar el resultado y desempeño de los procesos industriales, aplicando acciones de mejora e implementación de nuevas técnicas de control y de análisis.

La introducción de novedosas técnicas de control se inicia con la caracterización del comportamiento dinámico de las unidades que integran los procesos industriales. Luego, se procede al diseño de controladores idóneos para el control eficiente de dichos procesos, empleando diversos tipos como el controlador proporcional (P), el controlador proporcional-integral (PI), el controlador proporcional-derivativo (PD) y el controlador proporcional-integral-derivativo (PID), entre otros. Para optimizar la selección del controlador adecuado, se aplican técnicas de sintonización como el Método de Ziegler-Nichols. Finalmente, se verifica la estabilidad de los sistemas mediante el Criterio de Routh-Hurwitz. Después se realizan las simulaciones de los controladores diseñados, utilizando programas adecuados para ello, como Matlab y en particular Simulink y finalmente se efectúa la evaluación del desempeño en los lazos de control resultantes. Todo lo mencionado, sirve para la optimización global de los procesos industriales, lo que luego conlleva en mejoras de tiempo, dinero y en la búsqueda de nuevas tecnologías, como por ejemplo para la obtención de agua de fuentes no convencionales como el agua de mar.

El logro del control y la mejora continua implica que las personas dentro de la organización que maneja los procesos industriales cumplan roles importantes para que monitoreen continuamente todos los parámetros involucrados en el sistema, el manejo adecuado de los equipos especializados y la correcta operación del sistema de control.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- Se desarrolló la caracterización del comportamiento dinámico de un sistema de ósmosis inversa, primero mediante la selección de la planta desaladora de agua marina mediante la técnica de ósmosis inversa, donde se involucrarán los parámetros: pH y presión como variables de entrada y a la conductividad y flujo, como variables de salida o del permeado.
- El diseño de controladores implica la separación del sistema en dos bucles de control independientes, cada uno con una estructura SISO (una entrada y una salida), mediante el proceso de desacople.
- El control optimizado de la planta de ósmosis inversa, se consigue mediante la implementación de controladores PID diseñados con el Método de Ziegler-Nichols para su ajuste y verificando la estabilidad de los sistemas con el Criterio de Routh-Hurwitz.
- Las pruebas de simulación de los sistemas de control diseñados se realizan utilizando el programa Matlab y en particular Simulink.
- El desempeño eficaz de los sistemas de control incorporados en la planta desaladora de agua marina se comprueba satisfactoriamente mediante el análisis de los criterios de desempeño estudiados.
- El control eficiente de los procesos industriales se beneficia de la aplicación de diversas metodologías, como el Método de Ziegler-Nichols, en el diseño de controladores adecuados, y son herramientas que ayudan en mantener los procesos industriales dentro de los rangos de operación óptimos.

5.2 Recomendaciones

- Toda organización que busque mejorar el control de sus procesos industriales ya sea para mejorar sus tiempos de operación o para generar un ahorro económico, debería implementar un sistema de control eficiente, utilizando controladores clásicos PID o similares.

- Para salvaguardar el buen funcionamiento de los sistemas de control, se recomienda un seguimiento constante de sus parámetros de control y que cuando se genere una gran variación de éstos, se pueda realizar el ajuste de los parámetros PID requerido.
- La implementación de controladores PID en plantas desalinizadoras de agua de mar en Perú es viable y ofrece beneficios en el control de estos sistemas.

CAPÍTULO VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

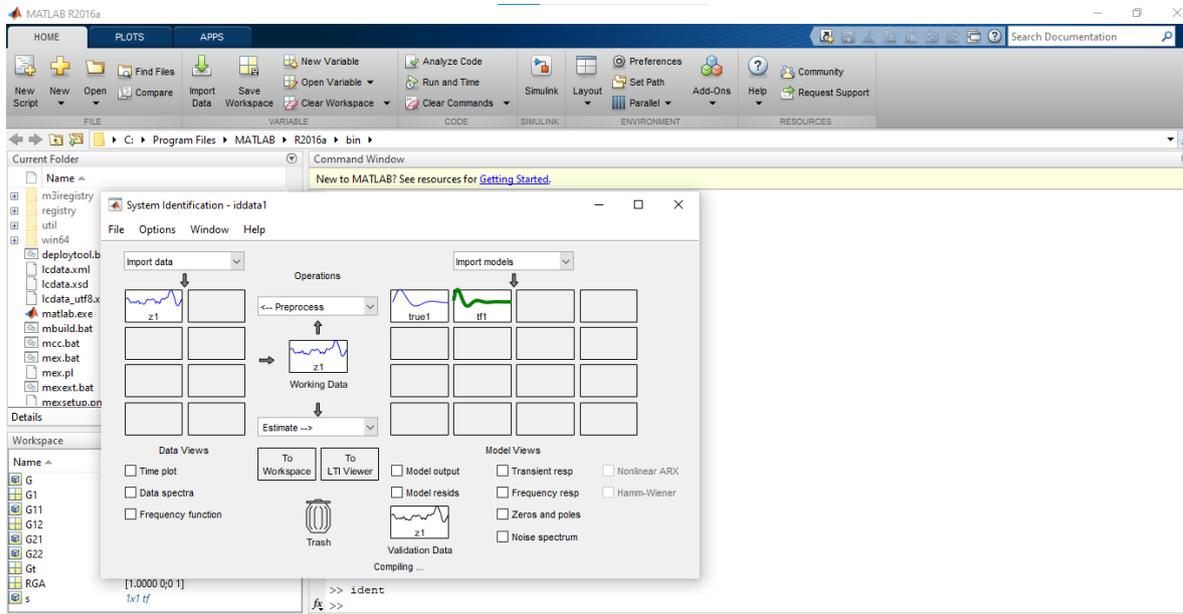
- Agudelo, N., Tano, G., & Vargas, C. (2020). *Historia de la automatización*. Universidad ECCI, Bogotá. Accessed: Nov, 1.
- Arántegui, J. (2011). *Control de Procesos*. Universidad de Lleida, España. *Recurso Web*.
- Åström K., and Hägglund T. (2009). *Control PID Avanzado*, Pearson Educación, S.A., España.
- De Prada, C. (2004). *El futuro del control de procesos*. Revista Iberoamericana de automática e informática industrial, Volumen 1, Issue 1, Páginas 5-14.
- Dévora-Isiordia, G., González-Enríquez, R., & Ruiz-Cruz, S. (2013). *Evaluación de procesos de desalinización y su desarrollo en México*. Tecnología y ciencias del agua, 4(3), Páginas 27- 46.
- Flugge-Lotz, I. (1971). *Memorial to N. Minorsky*. IEEE Transactions on Automatic Control, Volumen 16, Issue 4, Páginas 289-291.
- Gómez, J. (2010). *Sistemas y señales I*. Universidad Nacional de Rosario, Argentina.
- Gutiérrez, M. & Iturralde, S. (2017). *Fundamentos básicos de instrumentación y control*. Universidad Estatal Península de Santa Elena, Ecuador.
- Medina Garcia, J. L., & Guadayol Cunill, J. M. (2021). *La automatización en la industria química*. Edicions UPC.
- Rivas-Perez R., Cao T., Franco C. & Prokofiev V. (1987). *Sistema de control automático de objetivos con retardo de tiempo*. *Control, Cibernética y Automatización*, Volumen 20, Issue 1, Páginas 24-26.
- Rojas, D. (2016). *Diseño de controladores PID avanzado para el control robusto de una unidad de ósmosis inversa de una planta desalinizadora de agua de mar*.
- Valdivia, C. (2012). *Sistemas de control continuos y discretos*. Ediciones Paraninfo, SA.
- Vallejo, H. D., & la Web, E. (2005). *Los controladores lógicos programables*. Fuente: <http://www.todopic.com.ar/utiles/PLC.pdf>. Fecha de consulta, 6(07), 06.

Anexos

Anexo 1: Identificación de sistemas usando Matlab	1
Anexo 2: Extracto de la ficha técnica de un Presostato utilizado para el control de sistemas de desalinización de agua de mar	2

Anexos

Anexo 1. Identificación de sistemas usando Matlab



Anexo 2. Extracto de la ficha técnica de un Presostato utilizado para el control de sistemas de desalinización de agua de mar

Data sheet

Pressure switch and Thermostat

KP and KPI



The KP and KPI pressure switches and thermostats are used for control, monitoring and alarm systems in a wide variety of industry applications.

KP pressure switches are mainly used for gaseous fluid whereas KPI pressure switches are more for liquid and gaseous fluid. The products are available in IP30 enclosure as well as IP55 enclosure.

The KP pressure range include special designed pressure switches and limiters for steam boilers and other heating applications.

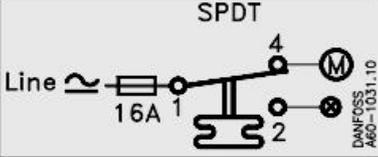
For water pump control and protection (dry run) the dual pressure switch KP44 is suitable and secure improved life time of the water pump.

Features	<ul style="list-style-type: none"> • Wide setting range • Shock and impact resistant • Snap action electrical contacts minimize chatter, bounce, and wear, and ensure long term electrical and mechanical reliability • Small dimensions - space saving and easy to install in panels • Electrical connection from front of the unit makes rack mounting easier and also saves space • Suitable for alternating current and direct current • Single pressure switches and thermostats are fitted with a single pole double throw contact system (SPDT) • Can be used for both liquids and gases (KPI) 	<ul style="list-style-type: none"> • Manual trip function enables electrical connections verification without any tools or pressure changes in the application • Versions with automatic and manual reset available • For demineralized water, there are special KP models with wetted parts made of stainless steel (AISI 316L)
-----------------	---	---

Approvals	<p>CE-marked in accordance with LVD 2014/35/EU: EN 60947-1, EN 60947-4-1, EN 60947-5-1 Underwriters Laboratories Inc., UL</p>	<p>China Compulsory Certificate, CCC (excluding boiler versions) GOST (excluding KPI)</p>
------------------	---	---

Technical data

Single pressure switch

Description		KP 35, KP 36	KPI 35, KPI 36	KPI 38	KP 34, KP 35, KP 36, KP 37 boiler version
Ambient temperature [°C]		-40 – 65 °C (for max. 2 hours up to 80 °C)			
Media temperature [°C]		-40 – 100 °C			
Fluid		Gaseous media	Gaseous media and liquids	Steam, air, gaseous media & liquids	
Parts in contact with fluid	Bellows	Phosphor bronze or Stainless steel	Phosphor bronze	Stainless steel	
	Pressure connector	Free-cutting steel (nickel plated) or Stainless steel	Brass	Free-cutting steel (nickel plated)	
Contact system					
Contact load, Silver		Single-pole double throw (SPDT)			
		Alternating current: AC-1: 16 A, 400 V AC-3: 16 A, 400 V AC-15: 10 A, 400 V	Alternating current: AC-1: 10 A, 440 V AC-3: 6 A, 440 V AC-15: 4 A, 440 V	Alternating current: AC-1 : 16 A, 400 V AC-3 : 16 A, 400 V AC-15 : 10 A, 400 V	
		Direct current: DC-13: 12 W, 220 V	Direct current: DC-13: 12 W, 220 V	Direct current: DC-13: 12 W, 220 V	
Contact load, Gold plated contact set		See information page 15			
Enclosure, IP30 grade		Unit must be mounted on a flat surface / a flat fitting and all unused holes covered			
Enclosure, IP44 grade		Mounted as IP30 plus fitting of top cover, code no. 060-109766			
Enclosure, IP55 grade		Unit mounted in a special IP55 enclosure, code no. 060-033066 or 060-062866			
Cable entry		Rubber cable gland entry for 6 – 14 mm diameter cables			
Mounted on back plate / wall bracket		Vibration proof in the range 0 – 1000 Hz, 4 g [1 g = 9.81 m/s ²]			
Mounted on angle bracket		Not recommended in areas where vibrations occur			

Ordering

Pressure switch, types KP 35 and KP 36

Type	Setting range P _s	Differential	Permissible operating pressure P _s	Max. test pressure	Pressure connection	Contact material	Code no.
	[bar]	[bar]	[bar]	[bar]			
KP 35	-0.2 – 7.5	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	silver	060-113366 060-113391 ¹⁾
	-0.2 – 7.5	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	gold-plated	060-504766
	-0.2 – 7.5	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	silver	060-538666 ²⁾
	-0.2 – 7.5	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	silver	060-450366 ³⁾
KP 36	2.0 – 14.0	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	silver	060-110866 060-110891 ¹⁾
	2.0 – 14.0	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	gold	060-113766
	2.0 – 14.0	0.7 – 4.0	17	22	G 1/4 A	silver	060-538766 ²⁾
	4.0 – 12.0	0.5 – 1.6	17	22	G 1/4 A	silver	060-122166
	4.0 – 12.0	0.5 – 1.6	17	22	G 1/4 A	gold	060-114466
	4.0 – 12.0	0.5 – 1.6	17	22	G 1/4 A	silver	060-450166 ³⁾

¹⁾ Available only in Asia market²⁾ IP55 transparent enclosure³⁾ Stainless steel version, IP55 non-transparent enclosure

Pressure switch, types KPI 35 – KPI 38

Type	Setting range P _s	Differential	Permissible operating pressure P _s	Max. test pressure	Pressure connection	Contact material	Code no.
	[bar]	[bar]	[bar]	[bar]			
KPI 35	-0.2 – 8.0	0.4 – 1.5	18	18	G 1/4 A	silver	060-121766
	-0.2 – 8.0	0.4 – 1.5	18	18	G 1/4 A	gold-plated	060-316466
	-0.2 – 8.0	0.5 – 2.0	18	18	G 1/4 A	silver	060-121966
	-0.2 – 8.0	0.4 – 1.5	18	18	G 1/4 A	silver	060-315766 ¹⁾
KPI 36	4.0 – 12.0	0.5 – 1.6	18	18	G 1/4 A	silver	060-118966
	4.0 – 12.0	0.5 – 1.6	18	18	G 1/4 A	gold-plated	060-113866
	2.0 – 12.0	0.5 – 1.6	18	18	G 1/4 A	silver	060-316966
	2.0 – 12.0	0.5 – 1.6	18	18	G 1/4 A	silver	060-319366 ²⁾
KPI 38	8.0 – 28.0	1.8 – 6.0	30	30	G 1/4 A	silver	060-508166
	8.0 – 28.0	1.8 – 6.0	30	30	G 1/4 A	silver	060-541866 ²⁾

¹⁾ IP55 transparent enclosure²⁾ IP55 non-transparent enclosure

Pressure switch, types KP 34 – KP 37, boiler version

Type	Setting range p _s	Differential	Reset	Pressure connection	Max. test pressure	Contact material	Code no.
	[bar]	[bar]					
KP 34	0.1 – 1.0	0.1 – 0.4	Automatic	G 1/2 A	4.0	silver	060-216466
	0.1 – 1.0	0.2	Manual	G 1/2 A	4.0	silver	060-216366
KP 35	0.4 – 3.4	0.4 – 2.2	Automatic	G 1/2 A	10	silver	060-216666
	0.4 – 3.4	0.5	Manual	G 1/2 A	10	silver	060-216566
KP 36	1.0 – 10.0	0.7 – 4.0	Automatic	G 1/2 A	17	silver	060-215966
	1.0 – 10.0	0.7	Manual	G 1/2 A	17	silver	060-216066
KP 37	4.0 – 20.0	1.8 – 3.1	Automatic	G 1/2 A	28	silver	060-216166
	4.0 – 20.0	3.0	Manual	G 1/2 A	28	silver	060-216266