



UNIVERSIDAD DE CHILE
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA COMPUTACIÓN

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN DE
GESTIÓN AMBIENTAL PARA UNA FAENA MINERA

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN

LEANDRO ANTONIO LLANZA GONZÁLEZ

PROFESOR GUÍA:
NELSON BALOIAN TATARYAN

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:
JOSÉ PINO URTUBIA
HUGO BELTRÁN ALEJOS

SANTIAGO DE CHILE
2024

RESUMEN DE LA MEMORIA PARA OPTAR
AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL EN COMPUTACIÓN
POR: LEANDRO ANTONIO LLANZA GONZÁLEZ
FECHA: 2024
PROF. GUÍA: NELSON BALOIAN TATARYAN

IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE INFORMACIÓN DE GESTIÓN AMBIENTAL PARA UNA FAENA MINERA

La industria minera opera con estrictas regulaciones ambientales, sobre todo aquellas faenas cercanas a centro habitados, en específico, el material particulado debe ser medido diariamente para mantener los límites seguros para la salud humana.

Nuestro cliente, minera Spence del grupo BHP, necesita un sistema de información para la divulgación oportuna y segura de datos medioambientales, específicamente de impacto ambiental. El objetivo es cumplir con las expectativas ambientales propias, los estándares de la autoridad sanitaria y cambiar la percepción negativa de la comunidad sobre la compañía.

Por otro lado, la minera cuenta con una política de seguridad informática que impone una serie de requisitos técnicos y de documentación a todo desarrollo externo para su instalación al interior de los sistemas de la empresa.

En este sentido, se desarrolló un Sistema de Información de Gestión Ambiental (SIGA) de alta disponibilidad, seguridad y calidad para responder a los estándares y requerimientos internos, de la Autoridad Ambiental y a aquellos relacionados con las comunidades aledañas.

El sistema está dividido en cuatro capas: Captura de Datos, Comunicaciones, Almacenamiento y Procesamiento y la capa de Disponibilización de Datos, cada una a cargo de una etapa en el flujo total de los datos desde los sensores ambientales, ubicados en las estaciones de monitoreo, hasta la publicación de los datos en el sitio web. Además el sistema permite administrar los datos de la infraestructura relacionada con el sistema integral de monitoreo, esto es, desde los datos de cada estación de monitoreo y su hardware asociado, hasta los usuarios del sistema y sus perfiles de acceso.

Todo el trabajo fue realizado en un servidor de desarrollo, el que posteriormente se convirtió en el servidor de producción final.

Como resultados de este desarrollo, se obtuvo la validación técnica del sistema por los encargados de la seguridad informática del cliente, el sistema sorteó los requerimientos impuestos incluyendo la entrega de la totalidad de la documentación solicitada.

Por otro lado, la evaluación de la calidad de los datos en aquellos aspectos definidos (unicidad, completitud, integridad y disponibilidad) arrojó el cumplimiento de los umbrales especificados.

Respecto a la evaluación por parte del cliente, se obtuvo una buena apreciación de la usabilidad del sistema por parte del principal usuario, esto mediante un sistema rápido de evaluación.

A mi familia.

Tabla de Contenido

Índice de Tablas	v
Índice de Ilustraciones	vi
1. Introducción	1
1.1. Contexto	1
1.2. Descripción General del Problema	2
1.3. Objetivos	3
1.3.1. Objetivo General	3
1.3.2. Objetivos Específicos	3
1.4. Metodología	4
1.5. Descripción General de la Solución	4
1.6. Estructura del Presente Documento	5
2. Estado del Arte	7
2.1. Tecnologías de Desarrollo	8
2.1.1. jQuery	8
2.1.2. Framework Spring	8
2.1.3. Jakarta Server Pages	9
2.1.4. Servidor Web Tomcat	10
2.1.5. Modelo MVC	11
2.2. Motores de Bases de Datos	11
2.2.1. PostgreSQL	12
2.3. Herramientas de Evaluación de Usabilidad	14
2.3.1. SUMI	14
2.3.2. USE	15
2.3.3. SUS	15
2.4. Monitoreo Ambiental	17
2.4.1. Estación Monitora de Calidad del Aire	17
2.5. Sistemas de Información Relacionados	18

2.5.1.	Descomposición Modular de Sistemas	18
2.5.2.	Arquitecturas para Sistemas de Monitoreo	21
3.	Problema	23
3.1.	Descripción Detallada del Problema Abordado	23
3.2.	Levantamiento de Requerimientos	25
3.3.	Criterios de Evaluación	29
4.	Solución	31
4.1.	Diseño del Sistema	31
4.1.1.	Metodología	34
4.1.2.	Arquitectura del sistema	35
4.1.3.	Arquitectura Funcional	39
4.1.4.	Modelo de Datos	40
4.1.5.	Flujo de Navegación	42
4.1.6.	Esquema de Seguridad	45
4.2.	Implementación	47
4.2.1.	Interfaz de Usuario	47
4.3.	Validación	77
4.3.1.	Instalación del sistema y paso a producción	77
4.3.2.	Calidad de datos y sus dimensiones	80
4.3.3.	Evaluación del cliente	83
5.	Conclusiones	85
	Bibliografía	86
	Anexos	93
Anexo A:	Propuesta Técnica y Económica	94
Anexo B:	Manual de Sistema	96
Anexo C:	Manual de Usuario Superusuario	98

Índice de Tablas

3.1. Resultado del levantamiento de requerimientos.	28
4.1. Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas	33
4.2. Infraestructura preliminar del Sistema	40
4.3. Grupos de Servicio para el Modelo de Datos.	40
4.4. Asignación de funcionalidades por perfil.	46
4.5. Interfaz Web: Iconografía General	49
4.6. Métrica(s) de éxito asociadas a la unicidad de los datos	80
4.7. Métrica(s) de éxito asociadas a la completitud de los datos	81
4.8. Métrica(s) de éxito asociadas a la integridad de los datos	81
4.9. Métrica(s) de éxito asociadas a la disponibilidad de los datos	82
4.10. Resultado aplicación cuestionario SUS	84
5.1. Descripción Documento: Propuesta Técnica y Económica	94
5.2. Descripción Documento: Manual de Sistema	96
5.3. Descripción Documento: Manual de Usuario - Superusuario	98

Índice de Ilustraciones

2.1. Arquitectura JSP Modelo 2 (Fuente: Libertyernie2, CC BY-SA 3.0).	10
2.2. Subsistema web embebido y sus componentes (Fuente: Mendoza F. [47]). . .	20
2.3. Arquitectura para un sistema de monitoreo remoto de variables ambientales (Fuente: Mamani M. [50])	21
4.1. Arquitectura modular del sistema de monitoreo	36
4.2. Diagrama de Descomposición Funcional del sistema	39
4.3. Modelo Entidad Relación para la base de datos del sistema.	41
4.4. Diagrama de Flujo de Navegación del Sistema de Gestión Ambiental.	44
4.5. Interfaz Web - Panel de Control - Captura de Pantalla	50
4.6. Interfaz Web - Menú Principal por Perfil de Acceso - Capturas de Pantalla .	51
4.7. Interfaz Web - Menú de Operaciones por Perfil de Acceso - Capturas de Pantalla	52
4.8. Interfaz Web - Panel de Control - Captura de Pantalla	54
4.9. Interfaz Web - Ventana Visualización Registro de Acciones - Captura de Pantalla	55
4.10. Interfaz Web - Formulario Ingreso Nueva Acción - Captura de Pantalla . . .	55
4.11. Interfaz Web - Ventana Visualización Eventos Operacionales - Captura de Pantalla	56
4.12. Interfaz Web - Formulario Ingreso Nuevo Evento Operacional - Captura de Pantalla	57
4.13. Interfaz Web - Ventana Visualización Pronóstico Meteorológico y Calidad del Aire - Captura de Pantalla	58
4.14. Interfaz Web - Ventana Visualización Radiación Solar en San Pedro de Ata- cama - Captura de Pantalla	59
4.15. Interfaz Web - Menú de Configuración por Perfil de Acceso - Captura de Pantalla	61
4.16. Interfaz Web - Ventana Configuración de Usuarios - Captura de Pantalla . .	62
4.17. Interfaz Web - Ventana Configuración de Proyecto Minero - Captura de Pantalla	63
4.18. Interfaz Web - Ventana Configuración de Estaciones - Captura de Pantalla .	64
4.19. Interfaz Web - Ventana Configuración de Sensor por Estación - Captura de Pantalla	65

4.20. Interfaz Web - Ventana Configuración de Perfiles por Estación - Captura de Pantalla	66
4.21. Interfaz Web - Ventana Configuración de Niveles de Monitoreo (Estación - Sensor - Año - Mes - Hora) - Captura de Pantalla	67
4.22. Interfaz Web - Ventana Configuración de Perfiles de Acceso - Captura de Pantalla	68
4.23. Interfaz Web - Ventana Configuración de Usuarios - Captura de Pantalla . .	69
4.24. Interfaz Web - Menú de Datos por Perfil de Acceso - Captura de Pantalla . .	70
4.25. Interfaz Web - Ventana de Visualización de Datos Históricos - Captura de Pantalla	71
4.26. Interfaz Web - Ventana de Visualización de Gráfico Lineal Comparativo - Captura de Pantalla	73
4.27. Interfaz Web - Ventana de Visualización de Gráfico Comparativo - Captura de Pantalla	75
4.28. Interfaz Web - Ventana de Ayuda con Formulario de Búsqueda - Captura de Pantalla	76
5.1. Propuesta Técnica y Económica: Portada y Tabla de Contenido del Documento	95
5.2. Manual de Sistema: Portada y Tabla de Contenido del Documento	97
5.3. Manual de Usuario - Superusuario: Portada y Tabla de Contenido del Documento	99

Capítulo 1

Introducción

1.1. Contexto

Sobre la industria minera recaen regulaciones medioambientales que la obligan, en todas sus faenas cercanas a centros habitados, a informar a la autoridad competente y entregar datos en línea de algunas variables ambientales, en este caso, nos centraremos en el MP10¹ y MP2,5².

MP o Material Particulado o, simplemente polvo, es el conjunto de elementos sólidos de diámetro entre 1-100 [μm], con la capacidad de mantenerse en suspensión en el aire durante un período de tiempo determinado, son “partículas pequeñas emitidas a la atmósfera por elementos naturales, por procesos mecánicos o industriales, por transporte de materiales, demoliciones y otros” [2].

Respecto las normativas de seguridad que regulan la presencia de material particulado al interior de faenas mineras destacan tres artículos en el marco de diferentes decretos supremos:

Se permiten valores de no más de 150 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] (ciento cincuenta microgramos por metro cúbico normal) como concentración de 24 horas de material particulado respirable MP10, calculado como el promedio aritmético de las mediciones de concentración por estación monitora en 24 horas consecutivas [3].

¹"Material particulado respirable MP10: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual que 10 micrómetros (μm)."[1]

²"Material particulado respirable fino MP2,5: Material particulado con diámetro aerodinámico menor o igual a 2,5 micrones."[1]

En el caso del material particulado fino respirable MP2,5, se considera fuera de la norma si se tiene el percentil 98 de las medias diarias de un año sobre los 50 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] (cincuenta microgramos por metro cúbico normal) o si el promedio trianual de los promedios anuales superan los 20 [$\mu\text{g}/\text{m}^3\text{N}$] [1].

También existen límites permisibles y sus frecuencias de ocurrencia anual definidos para distintos polvos, por ejemplo: Cuarzo, Cristobalita, tridimita [4].

Actualmente la autoridad medioambiental pone mayor énfasis en la obligación de las empresas mineras de medir diariamente el material particulado manteniendo los límites considerados seguros para la salud humana [5].

1.2. Descripción General del Problema

Minera Spence³ ha establecido una Política de Desarrollo Sostenible, para abordar el desafío del material particulado, problema generalizado en la industria minera, la empresa reconoce la necesidad de gestionar sus operaciones y, para ello, declara la necesidad de mejorar la calidad de la información relacionada.

En este sentido, se propone implementar un nuevo sistema de monitoreo ambiental y meteorológico, así como un sistema de información para la divulgación oportuna y segura de datos medioambientales, específicamente de impacto ambiental. El objetivo es cumplir con las expectativas ambientales propias, los estándares de la autoridad sanitaria y cambiar la percepción negativa de la comunidad sobre la compañía minera.

Actualmente la minera cuenta con un sistema de monitoreo que, por diferentes factores, requiere una actualización, especialmente ya que el servicio de monitoreo actual presenta irregularidades, riesgos operacionales, una gestión manual de datos y la dependencia de equipos y personal externo para su funcionamiento.

Un nuevo sistema permitirá contar con datos de calidad para gestionar las operaciones, información oportuna en línea con los requerimientos de la autoridad y un sistema de información directo para la comunicación con la comunidad cercana a la faena.

³Spence es una mina de cobre a cielo abierto, ubicada en la comuna de Sierra Gorda, región de Antofagasta. Entró operación el año 2006, produce +200K toneladas de cobre fino y es de propiedad de BHP [6].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Proveer al área HSEC⁴ de Minera Spence de un Sistema de Información de Gestión Ambiental (SIGA) de alta disponibilidad, seguridad y calidad; respondiendo a los estándares y requerimientos del área, de la Autoridad Ambiental y a los procedimientos de Sistemas de Información establecidos para la integración de aplicativos externos en sus sistemas.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Diseño e implementación de las interfaces ad hoc.
Realizar el levantamiento de los requerimientos específicos de entrega y despliegue de información para cada uno de los actores del sistema.
- Diseño e implementación de una arquitectura de datos segura.
Definir los protocolos de transmisión de datos desde el servicio de monitoreo ambiental de la minera para alimentar el sistema informático a desarrollar, procurando evitar la pérdida de datos y asegurando su alta calidad.
- Desarrollo del Sistema de Información de Gestión Ambiental.
Provisión de un sistema de adquisición, almacenamiento, procesamiento, y despliegue de la información recolectada de acuerdo a los requerimientos del cliente.
- Cumplimiento de estándares informáticos.
Seguir a cabalidad los procedimientos establecidos para la instalación de aplicativos externos en los sistemas informáticos de la minera.

⁴HSEC: Salud, seguridad, medio ambiente y comunidades para su sigla en inglés.

1.4. Metodología

El trabajo se dividió en fases, comenzando con una fase de evaluación del sistema de monitoreo anterior, con el objetivo de rescatar los elementos o funcionalidades a replicar y buscar la retroalimentación de los usuarios para enfocarse en las mejoras buscadas.

La siguiente fase de Conceptos se centró en determinar, a alto nivel, las funcionalidades requeridas y fijar una ruta de trabajo general.

En la fase de Especificaciones, se levantaron y validaron, detalladamente, los requerimientos del sistema para pasar a la etapa de desarrollo que se realizará en un servidor especialmente habilitado para esta fase la que culmina con una revisión por parte del ente encargado de incorporar este aplicativo a los sistemas de la minera.

En la fase final se hará la migración al sistema en entorno operativo con una correspondiente marcha blanca.

Esta metodología busca no solo cumplir con los requisitos técnicos sino también garantizar una integración efectiva con los procesos y objetivos de Minera Spence, asegurando así un sistema de monitoreo ambiental que sea robusto, útil y alineado con los estándares de BHP.

1.5. Descripción General de la Solución

Teniendo como meta la disponibilidad de los datos del sistema de monitoreo de calidad del aire y meteorología de Minera Spence, se ha desarrollado un Sistema de Información de Gestión Ambiental para el área HSEC de la Gerencia de Sustentabilidad con accesos restringidos para los diferentes actores.

Las principales funcionalidades del sistema incluyen la visualización en línea de datos de las estaciones de monitoreo, la disposición de datos en forma de gráficos con niveles de alerta predefinidos y el almacenamiento seguro de los datos.

Al mismo tiempo se busca cumplir con los requisitos técnicos y de documentación exigidos para todo nuevo aplicativo a ser instalado en BHP, dueño de minera Spence, sobretodo pues está definido que su instalación, tanto de los datos como el servidor central, debe ser físicamente dentro de la minera.

El Sistema de Información de Gestión Ambiental estará dividido en 4 capas: Captura de Datos, Comunicaciones, Almacenamiento y Procesamiento y la capa de Disponibilización de Datos, cada una a cargo de una etapa en el flujo total de los datos desde los sensores ambientales, ubicados en las estaciones de monitoreo, hasta la publicación de los datos en el sitio web.

Por otro lado, el sistema entregará la capacidad de administrar los datos de la infraestructura relacionada con el sistema integral de monitoreo, esto es, desde los datos de cada estación de monitoreo y su hardware asociado, hasta los usuarios del sistema y sus perfiles de acceso.

1.6. Estructura del Presente Documento

En el capítulo 2 se introducen las tecnologías solicitadas, elegidas y relacionadas con el desarrollo del Sistema de Información de Gestión Ambiental, específicamente tecnologías para el desarrollo de sitios web, almacenamiento de datos y evaluación de usabilidad de sistemas. Se realiza un análisis a desarrollos de sistemas de características y requerimientos similares que apoyan el diseño del nuevo sistema.

En el capítulo 3 se describe detalladamente el problema existente en el ámbito del monitoreo ambiental de la minera, se explicitan los requerimientos extraídos desde los principales usuarios del sistema y se presentan los criterios fundamentales de éxito para la evaluación de la solución.

En el capítulo 4 se describe el diseño de la solución en forma detallada, la metodología utilizada, la arquitectura del sistema, su diseño funcional y de infraestructura, la base de datos y el flujo de navegación.

Además se describe la implementación de la interfaz del usuario y se muestran los resultados de la evaluación de la solución en base a los criterios de éxito definidos.

Finalmente, en el capítulo 5, se presentan las conclusiones de este trabajo.

Capítulo 2

Estado del Arte

En este capítulo revisaremos las tecnologías solicitadas, elegidas y relacionadas con el desarrollo del Sistema de Información de Gestión Ambiental, específicamente tecnologías para el desarrollo de sitios web, almacenamiento de datos y evaluación de usabilidad de sistemas. La selección de las herramientas a utilizar responde a distintos criterios.

En el caso de tecnologías basales (aquellas que soportarán la operación del sistema), éstas siguen las directrices para los aplicativos externos a ser instalados en la infraestructura del cliente, esto es, el sistema operativo, el motor de la base de datos y el servidor web son elegidos a partir de un conjunto de herramientas ya visadas.

Respecto a las tecnologías de monitoreo ambiental, éstas están reguladas por la autoridad competente y su análisis es netamente de revisión del estado del arte.

Por otro lado, las tecnologías de desarrollo fueron seleccionadas a partir de la experiencia propia en trabajos anteriores, siempre contando con la aprobación por parte del cliente y el área a cargo. La selección de la herramienta de evaluación de usabilidad de sistemas utilizada responde a criterios mas bien logísticos que técnicos.

Finalmente, se realizará un análisis a desarrollos de sistemas de características y requerimientos similares que apoyan las decisiones del diseño del nuevo sistema.

2.1. Tecnologías de Desarrollo

2.1.1. jQuery

jQuery es una biblioteca multiplataforma de JavaScript, gratuita y de código abierto que permite, de manera rápida y simple, la manipulación de documentos HTML, el manejo de eventos, la animación y Ajax. Esencialmente, jQuery es una biblioteca de manipulación del Modelo de Objetos del Documento (DOM), donde se representan, en una estructura de árbol, todos los elementos agregados a una página web. Una de las grandes ventajas de JQuery es que reduce significativamente los problemas de compatibilidad de los navegadores [7] [8] .

Su API sencilla y el enfoque modular de sus componentes, permiten desarrollar páginas dinámicas, con alto nivel de refresco simultaneo, ideal para aplicaciones destinadas a graficar datos de plataformas de monitoreo, donde la creación de datos es constante y sin una frecuencia determinada.

La frase ancla de jQuery es “la biblioteca de JavaScript para escribir menos y hacer más”. La biblioteca fue creada en el año 2006, con su última versión estable del año 2021, alcanzó su máxima popularidad durante el año 2019, cuando era utilizada en más del 80 % de los sitios web más populares del mundo, actualmente su nivel de utilización es cercano al 70 % [9].

El mantenimiento prolongado de aplicaciones desarrolladas en JQuery se ve asegurado, pues, a pesar del tiempo pasado desde su última actualización, sigue siendo de una biblioteca muy popular. Analizando las estadísticas de las comunidades StackShare y GitHub, jQuery tiene una aprobación muy alta, siendo mencionado en 4049 foros de empresas y 2607 foros de desarrolladores, en la primera y obteniendo 51900 estrellas GitHub y 18300 GitHub forks, ubicándose solo en el segundo lugar después de React, otra librería de apoyo para el desarrollo de aplicaciones web [10].

2.1.2. Framework Spring

Spring es un framework de código abierto que da soporte para el desarrollo de aplicaciones basadas en Java de cualquier tamaño. Es un marco modular que entrega una gama de características de seguridad que facilitan la autenticación, verificación y validación [11].

Especialmente utilizado para el desarrollo bajo el patrón de arquitectura de software MVC, su módulo web proporciona características de integración orientadas en esa dirección, posee un soporte integral para tareas típicas que una aplicación necesita realizar, tales como, el enlace de datos, rápida conversión de tipos, validación y manejo de excepciones [12].

El módulo de acceso a datos entrega la capacidad de trabajar con conjuntos de datos

de manera casi natural, sin necesidad de implementar la capa M del patrón MVC, incluyendo las APIs JDBC para conectarse a las distintas bases de datos, reduciendo significativamente el tiempo de desarrollo de los proyectos.

Su lanzamiento inicial data del año 2002 y su última versión 6.0.2 es de Noviembre del año 2022, es considerado el framework más popular para trabajar con Java, conocido es su uso en las aplicaciones de Netflix, Accenture, eBay, Zillow y MIT, especialmente por su flexibilidad y seguridad [13] [14].

2.1.3. Jakarta Server Pages

Originalmente llamadas Java Server Pages, Jakarta Server Pages (JSP) es una tecnología para crear aplicaciones y generar contenido web dinámico, tales como HTML, DHTML, XHTML y XML. La tecnología JSP permite la creación sencilla de páginas web que producen contenido dinámico con sencillez y flexibilidad [15] [16].

Los beneficios de utilizar la tecnología JSP incluyen:

- Independencia de plataforma, lo que permite escribir solo una vez el código para ejecutarlo en cualquier otro lugar.
- Separación de roles, permitiendo una coordinación fluida entre desarrolladores de componentes de la capa de negocio y diseñadores de las capas de presentación.
- Reutilización de componentes, mediante el uso y reúso de JavaBeans, Java Entities y librerías
- Separación entre contenido dinámico y contenido estático, muy útil para la coordinación de roles.

A diferencia de las tecnologías CGI para el desarrollo de aplicaciones web, que generaban páginas web insertando HTML directamente en el código del lenguaje de programación, JSP permite a los desarrolladores agregar código de secuencias de comandos en páginas HTML, utilizando Java como el lenguaje predeterminado, aunque permite también otros lenguajes, tales como JavaScript, Perl y VBScript [17].

Otro beneficio que es importante destacar es el mecanismo de precompilación utilizado por las páginas JSP, mismo método de los servlets que, alojados en una máquina virtual Java persistente, permiten que el servidor maneje las respuestas de manera muy rápida. Entonces, las páginas JSP pueden ser vistas como una abstracción de alto nivel de los Servlets de Java, pero con una compilación en tiempo de ejecución, quedando convertidos en servlets alojados en cache y reutilizados hasta la siguiente modificación del JSP original [18].

Vista de manera pragmática, las páginas JSP son archivos de texto donde se unen el contenido dinámico con las plantillas de diseño, pueden ser utilizadas en aplicaciones sencillas

o también ser la V en el modelo MVC, utilizando Servlets de Java como la capa de control y JavaBeans para el modelo (Figura 2.1).

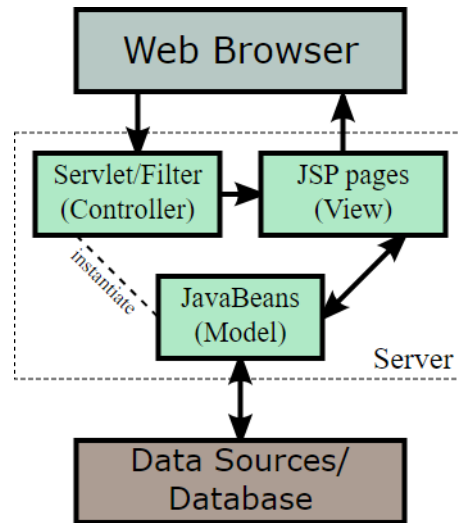


Figura 2.1: Arquitectura JSP Modelo 2 (Fuente: Libertyernie2, CC BY-SA 3.0).

Actualmente en su versión 3.1.1, de Febrero del 2023, ya anuncia su nuevo lanzamiento para Marzo del 2024 con la versión 4.

2.1.4. Servidor Web Tomcat

Apache Tomcat es un servidor web de código abierto para desarrollo en Java bajo las especificaciones de Jakarta Servlet, Jakarta Server Pages, Jakarta Expression Language, Jakarta WebSocket, Jakarta Annotations y Jakarta Authentication, todas pertenecientes a la plataforma Jakarta EE [19].

Sin llegar a ser un servidor de aplicaciones propiamente tal, ofrece la mayor parte de la funcionalidad básica que necesitan muchas aplicaciones web: buena extensibilidad, máquina del núcleo probada, extenso soporte e historia. En resumen, Tomcat es una implementación de referencia para Java Servlet y Java Server Pages [20] [21].

Tomcat tuvo sus inicios en Sun Microsystems al final de la década de los 90s, pasando posteriormente a Apache Software Foundation. Su versión actual es la 10, con una reciente actualización en Junio del 2023 y con el anuncio temprano de su próxima versión, lo que demuestra un desarrollo activo lo que garantiza su uso sostenible.

Tomcat es el servidor más popular dentro de los desarrolladores Java para aplicaciones web, las estadísticas del año 2022 detallan un 48% de preferencia, muy por sobre sus competidores más cercanos; es sin duda, una de las principales tecnologías de Java que existen en la actualidad [22] [23].

2.1.5. Modelo MVC

MVC (Modelo - Vista - Controlador) es un patrón de diseño de software ampliamente utilizado para implementar interfaces de usuarios, el cual divide la lógica del programa en tres capas interrelacionadas: la lógica de control, los datos y la interfaz de usuario propiamente tal. El uso de estas tres capas entrega la capacidad de administrar eficientemente el desarrollo y el mantenimiento del software.

Fue creado en la década de los 70s por Trygve Reenskaug quien buscaba un patrón universal para programas en que los usuarios interactuaran con una gran cantidad de datos. Su popularidad llegó a tal punto que los lenguajes de programación adoptaron frameworks MVC para su implementación [24] [25] [26].

A continuación se entrega una breve descripción de cada una de las capas de este patrón:

Modelo: Es la capa que gestiona datos y la lógica de negocio. Usualmente incluye la interacción con las bases de datos.

Vista: Es la capa que representa la interfaz de usuario, su diseño y visualización.

Controlador: Es la capa que responde a la interacción del usuario con el software y gatilla las peticiones al modelo, en otras palabras, enruta los requerimientos entre la capa modelo y vista.

2.2. Motores de Bases de Datos

Respecto a la selección del motor de base de datos a utilizar en este desarrollo, las políticas descritas en el documento “Guía de Incorporación de Nuevos Aplicativos” definen un listado específicos de opciones para tales efectos. Descartando las opciones no disponibles para el sistema operativo Linux, se ha tomado la determinación de utilizar PostgreSQL, un sistema de gestión de bases de datos relacionales (RDBMS¹).

Un RDBMS es un tipo de base de datos que almacena y proporciona acceso a datos que están relacionados entre sí, basado en un modelo relacional que utiliza tablas para la representación de los datos. En las tablas, cada fila es un registro con una identificación única llamada llave o clave y las columnas representan atributos específicos de cada registro.

Esto implica que estas bases de datos están altamente estructuradas, pueden ser representadas mediante un esquema lógico y físico y que, por definición, reducen la redundancia de datos [27] [28].

¹Sistema de Administración de Bases de Datos Relacionales para su sigla en inglés.

Estas bases de datos utilizan un lenguaje de programación estandarizado para almacenar, manipular y recuperar datos, conocido como SQL².

A continuación se presenta una descripción del producto seleccionado y se hace una comparación con las otras opciones disponibles.

2.2.1. PostgreSQL

PostgreSQL es un sistema de base de datos relacional de código abierto y multiplataforma con más de 35 años de desarrollo que utiliza y amplía el lenguaje SQL. Reconocida mundialmente por su sólida arquitectura, alto nivel de confiabilidad, integridad de datos y rendimiento.

Un principal diferenciador de PostgreSQL es que admite tipos de datos relacionales y no relacionales, convirtiéndose en un producto transversalmente elegido por su compatibilidad y estabilidad.

Creado en 1986, como POSTGRES, en la Universidad de Berkeley por el profesor de informática Michael Stonebraker, solo en el año 1994 incorporó soporte para SQL pasando a llamarse PostGreSQL [29] [30]. Actualmente se encuentra disponible en su versión 16.1 y posee soporte para Linux, MacOS, Windows, BSD y Solaris.

Ventajas Comparativas

Las otras alternativas analizadas fueron: MySQL y Oracle, las alternativas no compatibles con Linux no fueron analizadas.

MySQL

MySQL, también un RDBMS, se caracteriza por su rapidez en operaciones de lectura y escritura, convirtiéndolo en un excelente candidato para aplicaciones con requisitos de procesamiento de datos de alta velocidad, en cambio, PostgreSQL posee una gran robustez en consultas complejas y cargas de trabajo analíticas.

Respecto al soporte para tipos de datos avanzados, MySQL carece de estos. PostgreSQL, en cambio, proporciona un rico conjunto de tipos de datos, incluidos matrices, archivos JSON, etc. Además, posee soporte búsqueda de texto completo y procesamiento XML.

²Lenguaje de Consultas Estructurado para su sigla en inglés.

A nivel de documentación y soporte para desarrolladores, ambas herramientas poseen una amplia red de cocreación, soporte en múltiples plataformas de servicios de hosting y amplia documentación disponible.

En resumen, MySQL ofrece una solución rápida y sencilla para desarrollos con esa exigencia y PostgreSQL es una herramienta orientada a sistemas más complejos gracias a su oferta de funciones avanzadas y su énfasis en la integridad de los datos [31].

Oracle

En el caso de Oracle, nos encontramos un RDBMS orientado a objetos, que permite definir tipos de datos, usar herencia y polimorfismo, lo que entrega la capacidad de administrar modelos de datos complejos en una base de datos relacional.

Al compararlo con PostgreSQL, la primera gran diferencia es el tipo de licenciamiento y el costo. Oracle es un producto comercial con un costo de licencia significativo, lo que convierte a PostgreSQL en una alternativa más rentable. A nivel de replicación de datos y alta disponibilidad ambos productos ofrecen similares capacidades.

Por otro lado, Oracle es conocido por poseer un rendimiento con altos niveles de optimización, en cambio, PostgreSQL requiere configuraciones adicionales para lograr altos niveles de rendimiento.

En resumen, ambas son una alternativa real para este desarrollo, pero el factor rentabilidad inclina la balanza hacia PostgreSQL [32].

2.3. Herramientas de Evaluación de Usabilidad

La principal razón para evaluar la usabilidad de un software es la necesidad de recibir retroalimentación de manera efectiva, sin preguntarla directamente, con las partes interesadas del sistema, especialmente los usuarios [33].

Para evaluar la usabilidad de un sistema existen una amplia variedad de cuestionarios, estos entregan información útil sobre la usabilidad de una interfaz, sobre todo durante el desarrollo, cuando aplicar cuestionarios no están efectivo debido a no contar con el suficiente alcance para evaluar en forma íntegra la interfaz [34].

Los tests pueden ser clasificados en dos grupos: métodos rigurosos y métodos rápidos. Los primeros agrupan a un conjunto de herramientas de amplia aplicación que permiten generalizar sus resultados y permiten hacer comparaciones, esto ya que buscan resultados precisos y de alta confiabilidad, eso si, tienen la desventaja de tener un alto costo de aplicación. Los métodos rápidos, por el contrario, son simples, muy adaptables a las necesidades puntuales de un proyecto y, en la mayoría de los casos, son solo de uso interno.

Ahora, la especificación de las preguntas de los test de evaluación pueden ser cualitativas o cuantitativas dependiendo del contexto de aplicación y del resultado esperado, usualmente, las primeras se utilizan para evaluar comportamientos y percepción del usuario, mientras que las segundas se utilizan para obtener medidas comparables de las funcionalidades a evaluar.

A continuación se describen tres métodos de evaluación de usabilidad, los más aplicados según la literatura existente.

2.3.1. SUMI

SUMI (Software Usability Measurement Inventory) es un cuestionario de estándar internacional que cuenta con 50 preguntas, es de muy rápida aplicación (minutos) y se utiliza para medir la satisfacción del usuario y evaluar la calidad del software percibida por el usuario. Es un método válido y confiable para comparar productos que son competidores o simplemente para evaluar versiones de un mismo producto.

Para aplicar un test SUMI es necesario contar con una versión funcional del sistema, por lo tanto, no es recomendable para etapas tempranas, a menos que se cuente con una versión de prototipo o maqueta de prueba. Los resultados de SUMI son confiables y son capaces de discriminar entre diferentes tipos de productos de software [35] [36].

SUMI proporciona una evaluación de un sistema o software dividida en 5 áreas:

1. *Afectividad*, cuyo objetivo es medir cómo el software se alinea con las respuestas emocionales del usuario.
2. *Eficiencia*, cuyo objetivo es evaluar el grado en que el usuario logra los objetivos buscados en el software.
3. *Utilidad*, cuyo objetivo es medir el grado en que el software entrega ayuda al usuario.
4. *Control*, cuyo objetivo es evaluar la percepción de control que tiene el usuario sobre el sistema y no al revés.
5. *Capacidad de aprendizaje*, cuyo objetivo es medir con qué facilidad el usuario comienza a realizar nuevas funciones con el software.

2.3.2. USE

El cuestionario USE (Usefulness, Satisfaction, and Ease of use) está conformado por conjunto de preguntas de uso libre que fue desarrollado por Arnold Lund el año 2001, es utilizado para evaluar subjetivamente la usabilidad de un producto o servicio, en nuestro caso, la interfaz de un sistema. Si bien su confiabilidad y validez no está completamente mostrada, sigue siendo utilizado para evaluar la usabilidad de productos en el mundo, entregando resultados consistentes [37] [38].

Consiste de una encuesta con 30 preguntas que utilizan escalas Likert de 1 a 7 (1: totalmente en desacuerdo y 7: totalmente de acuerdo).

Las dimensiones de evaluación son:

- Utilidad.
- Facilidad de uso.
- Satisfacción.

2.3.3. SUS

El cuestionario SUS (System Usability Scale) es un conjunto de 10 preguntas que busca entregar una visión global de las evaluaciones subjetivas de usabilidad, fue creada por John Brooke en 1986 como una escala de usabilidad «rápida y sucia» para evaluar prácticamente cualquier tipo de sistema.

Durante todos estos años de aplicación, SUS ha evidenciado ser un método sólido y confiable para evaluar la usabilidad de los sistemas en comparación con los estándares de la industria antes mencionados [39].

SUS utiliza una escala Likert con afirmaciones cuidadosamente seleccionadas y debe ser aplicada inmediatamente después del uso del sistema, pero antes de cualquier reunión explicativa o discusión y se le solicita a los encuestados que respondan con lo primero que se les venga a la mente, sin pensarlo mucho.

Para obtener el resultado, cada pregunta recibe un puntaje, pero es solo el resultado total el que importa, por lo que las puntuaciones de elementos individuales no son significativas por sí solas. Posee un método especial de conteo de puntaje, primero cada pregunta recibe una escala de 0 a 4, posteriormente para las preguntas 1,3,5,7 y 9, la contribución a la puntuación es la posición de la escala menos 1 y para los ítems 2,4,6,8 y 10, la contribución es 5 menos la posición de la escala obtenida, muy congruente con el carácter de las preguntas, las que alternan entre positivas y negativas. Finalmente el resultado debe ser multiplicado por 2,5 para obtener el valor total del cuestionario SUS.

El puntaje SUS tiene un rango de 0 a 100 y se considera como puntuación promedio 68 puntos. Cualquier valor menor refleja problemas graves con la usabilidad del sistema y mientras más cercano a 100 implica una usabilidad en la dirección correcta. Lo concluyente de los resultados está dado por el número de entrevistados, el que debe estar entre 5 y 15 usuarios [40].

SUS, entonces, parecería ser la elección obvia frente a otros cuestionarios, especialmente por el menor tiempo utilizado por el usuario, pero no lo es, ya que presenta una serie de dificultades en su utilización [41]. A continuación, un resumen de ellas:

Idioma

Se ha constatado que los resultados son altamente sensibles a la redacción del cuestionario, con leves variaciones en las palabras de las preguntas, se obtienen resultados diferentes, incluso utilizando sinónimos del mismo idioma. Esta situación se agrava cuando el cuestionario es una traducción del cuestionario oficial, que está hecho en inglés de Estados Unidos. En varios idiomas se ha hecho una traducción oficial que se ha estandarizado, pero en la literatura no fue posible encontrar la versión oficial para el español hablado en Chile.

Usuarios, cantidad y carácter

La elección de usuarios a entrevistar con este cuestionario también suele ser una gran complicación, en general, no es fácil conseguir la cantidad suficiente y representativa de modo que sean independientes del desarrollo y además, competentes en el tema del sistema.

Resultados poco concluyentes

A diferencia de otros cuestionarios, no se pueden sacar conclusiones respecto a temas de usabilidad: el único resultado que se puede obtener es una afirmación del tipo “el software evaluado es mejor que el promedio de los softwares usados en USA” o “No lo es”, dependiendo si el puntaje es mayor que el valor anteriormente dado. Otros cuestionarios permiten descubrir aspectos de la usabilidad que son deficientes y que se podrían mejorar.

2.4. Monitoreo Ambiental

2.4.1. Estación Monitora de Calidad del Aire

Una estación de monitoreo de calidad del aire es una instalación cuyo destino es medir y registrar en forma regular algunas mediciones de la calidad del aire de manera automatizada y, en muchos casos, remota. Recopilan datos sobre diferentes componentes del aire, como partículas contaminantes, gases tóxicos y compuestos orgánicos volátiles [42] [43] [44].

Sus principales objetivos son: evaluar la calidad del aire, identificar fuentes de contaminación, detectar tendencias a largo plazo y tomar medidas para proteger la salud pública y el medio ambiente.

Dentro sus componentes principales podemos encontrar:

- Una torre meteorológica, generalmente utilizada para monitorear parámetros como temperatura, humedad del ambiente y dirección y velocidad del viento.
- Una toma de muestras con un filtro para partículas, útil para monitorear las muestras de MP10 y MP2,5.
- Un analizador de las partículas MP10 y MP2,5.
- Un equipo de datalogger, encargado del registro de los datos captados.
- Equipos de comunicación para la transmisión de datos, en caso necesario.

Existen las redes de monitoreo públicas y privadas, las primeras pertenecientes al Ministerio del Medio Ambiente de Chile y, las segundas, son aquellas que han sido instaladas para seguimiento y control de las emisiones contaminantes de proyectos privados, por ejemplo, faenas mineras, cementeras y termoeléctricas, entre otras.

La mayoría de estas últimas debe su existencia a las exigencias de las resoluciones de calificación ambiental (RCA³) que aprueban los proyectos ingresados al sistema de evaluación de impacto ambiental (SEIA⁴). Están ubicadas en áreas estratégicas, como las mismas zonas industriales, áreas urbanas densamente pobladas o próximas a las fuentes de contaminación.

³La RCA es un documento administrativo que se obtiene una vez culminado el proceso de evaluación de impacto ambiental, que coordina el Servicio de Evaluación Ambiental (SEA). Este documento establece las condiciones, exigencias o medidas que el titular asociado a un proyecto o actividad deberá cumplir durante su ejecución. Fuente: Sistema Nacional de Información de Fiscalización Ambiental, SNIFA, de la Superintendencia del Medio Ambiente; <https://snifa.sma.gob.cl/>.

⁴El SEIA es un instrumento de gestión ambiental de carácter preventivo, regulado en la Ley N°19.300 sobre Bases Generales del Medio Ambiente, y su Reglamento, definido como un procedimiento, a cargo del Servicio de Evaluación Ambiental, que, sobre la base de un Estudio o Declaración de Impacto Ambiental, determina

En muchos casos, su implementación tiene un carácter comunitario, pues sirven para informar a las autoridades ambientales y a la comunidad en general sobre la calidad del aire y si se cumplen los estándares de calidad establecidos para la protección de los habitantes y el medio ambiente.

Respecto a los métodos para medir el material particulado, la norma presenta cuatro alternativas:

- Método gravimétrico de muestreador de alto volumen equipado con cabezal PM-10.
- Método gravimétrico de muestreador de bajo volumen equipado con cabezal PM-10.
- Método por transducción gravimétrica de oscilaciones inducidas. Microbalanza de oscilación de sensor voladizo con cabezal PM-10.
- Métodos basados en el principio de atenuación beta.

2.5. Sistemas de Información Relacionados

A continuación analizaremos diferentes desarrollos de sistemas de información relacionados con sistemas de monitoreos, si bien no todos apuntan a monitoreos ambientales, sus componentes y decisiones de diseño son perfectamente extrapolables.

2.5.1. Descomposición Modular de Sistemas

En el trabajo realizado por Xia et al. [45] se enfrentaban al desafío de una mala adquisición de datos en tiempo real, una pequeña área de cobertura de monitoreo y una excesiva necesidad de mano de obra (y tiempo) para obtener datos.

La solución propuesta es un sistema de monitoreo ambiental para la agricultura de arándanos basado en redes de sensores inalámbricos en un sector de un ladera de una colina.

La descomposición del sistema define 4 subsistemas:

si el impacto ambiental de una actividad o proyecto se ajusta a las normas vigentes. Fuente: Servicio de Evaluación ambiental; <https://www.sea.gob.cl/>.

- Subsistema de adquisición de datos, basado en WSN⁵
- Subsistema de recopilación y procesamiento de datos, que adopta una arquitectura de cliente-servidor,
- Subsistema de consultas y difusión de información, basado en un sitio web integrado con una herramienta de visualización geográfica (Google Maps)
- Subsistema de alarma, con foco en los agricultores y técnicos agrícolas, usuarios y beneficiarios finales del sistema.

El resultado obtenido fue un sistema de bajo costo con gran escalabilidad y un servicio preciso, estable y en tiempo real.

En el trabajo realizado por Bhanu et al. [46] se buscaba aumentar la productividad y calidad de la agricultura sin una observación manual y presencial constante de las variables relevantes para los cultivos: Temperatura, humedad y el nivel de dióxido de carbono.

Se diseñó y desarrolló un sistema de monitoreo agrícola utilizando una red de sensores inalámbricos, un gateway, una base de datos y una aplicación web.

Los componentes de esta solución son:

- Red de sensores, que, con topología estrella, se comunican, vía Zigbee⁶, con el gateway para entregar los datos capturados,
- Gateway, encargado de la transmisión de los datos hacia la base de datos,
- Base de datos, que almacena y administra el acceso a los datos y
- Aplicación web, donde se realiza la gestión de los usuarios, los terrenos a monitorear y se disponibiliza los datos históricos y en tiempo real en forma gráfica.

En el trabajo de Mendoza F. [47], se buscaba una solución para monitorear y controlar las variables relevantes en los invernaderos de una zona productiva: Temperatura, humedad, nivel del CO₂ y otras. La solución propuesta se basa en la utilización de sensores inalámbricos configurados en una red LAN.

El sistema se compone de los siguientes subsistemas:

⁵WSN: red de sensores inalámbricos para su sigla en inglés

⁶Zigbee es una especificación basada en IEEE 802.15.4 para un conjunto de protocolos de comunicación de alto nivel para crear redes inalámbricas ad-hoc de baja potencia, baja velocidad de datos y corto alcance (hasta 100 m. en línea vista) [48] [49].

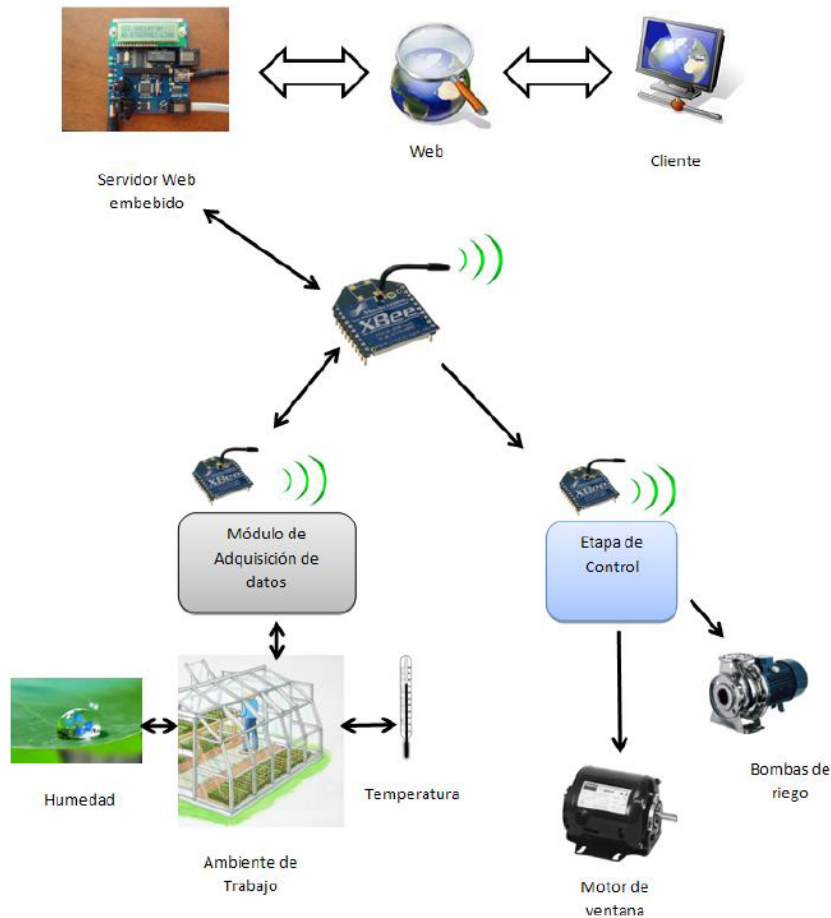


Figura 2.2: Subsistema web embebido y sus componentes (Fuente: Mendoza F. [47]).

- Captura de datos, conjunto de sensores encargados de capturar las mediciones de temperatura y humedad apoyados en un controlador de señales digitales. Su bajo consumo proporciona la capacidad de utilizar paneles solares, lo que permite instalar sistemas de monitoreo alejados de la cobertura de redes tradicionales.
- Microcontroladores, que se encargan de recibir, almacenar y disponibilizar los datos capturados por el subsistema anterior, posee un servidor web embebido lo que permite el acceso local a las mediciones y controlar los actuadores de los dispositivos al interior del invernadero.
- Comunicaciones, subsistema encargado de la comunicación entre los sensores de adquisición de datos y los actuadores con los microcontroladores y el servidor web, basado en tecnología ZigBee.

La figura 2.2 muestra la arquitectura asociada a los microcontroladores de esta solución.

2.5.2. Arquitecturas para Sistemas de Monitoreo

En el trabajo de Mamani M. [50] enfrentaban la necesidad de monitorear y controlar variables ambientales en cultivos en invernaderos de zonas desérticas y alejadas del norte de Chile, se diseña un sistema compuesto de cinco módulos, cuya arquitectura modular está representada en la figura 2.3.

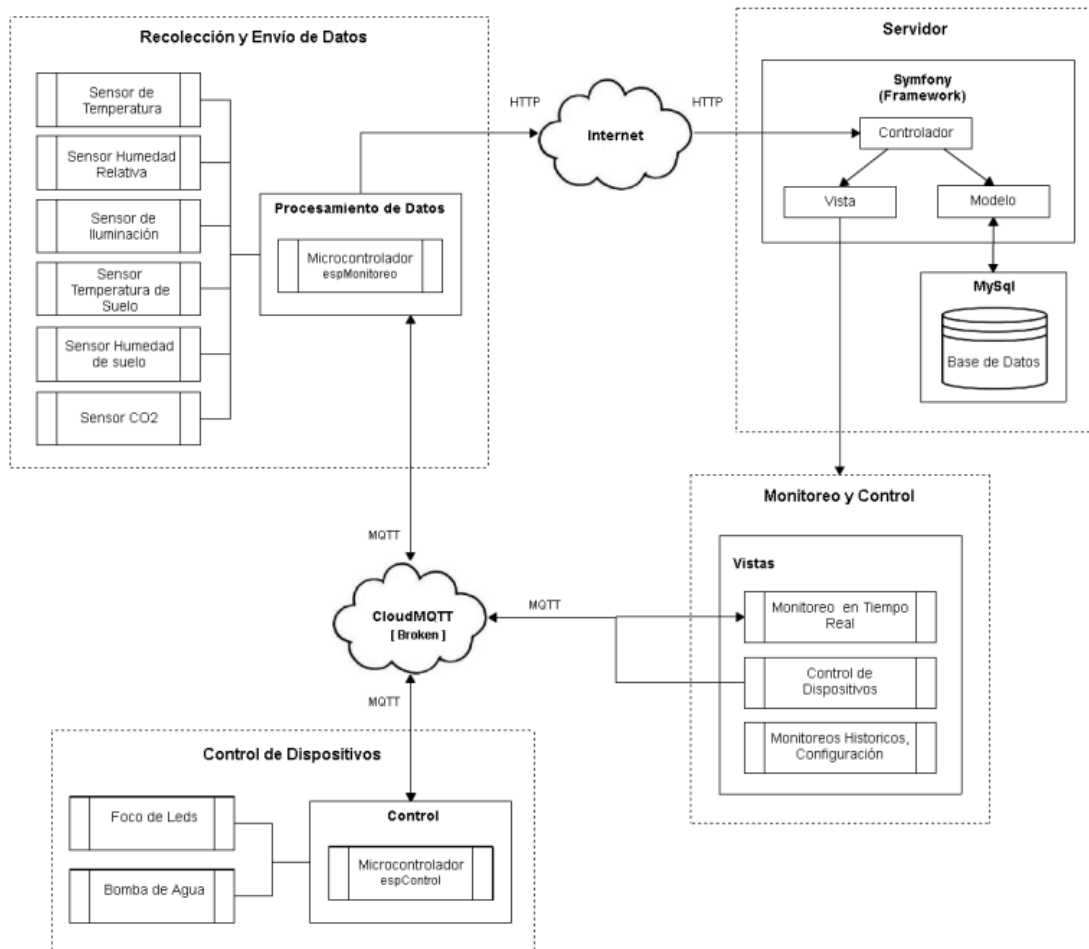


Figura 2.3: Arquitectura para un sistema de monitoreo remoto de variables ambientales (Fuente: Mamani M. [50])

Las componentes del sistema son:

- Recolección y envío de datos, subsistema compuesto por un microcontrolador y un conjunto de sensores, el microcontrolador funciona como datalogger con una frecuencia de muestreo y gateway de comunicación con internet. Envía los datos capturados y recibe los umbrales de activación de medidas de control. El envío de datos se puede realizar en demanda o tiempo real.
- Servidor, subsistema a cargo de recibir, almacenar y disponibilizar los datos enviados

por los microcontroladores.

- Control de dispositivos, subsistema compuesto por otro microcontrolador a cargo de controlar directamente los dispositivos para manejar las variables ambientales obtenidas, por ejemplo, sistemas de aperturas de ventanas, válvulas de riego y otros.
- Monitoreo y Control, es la interfaz de visualización de datos históricos y en tiempo real y de manipulación remota de dispositivos de control.
- CloudMQTT, subsistema, basado en el protocolo MQTT⁷ a cargo del canal de comunicación entre los usuarios y ambos microcontroladores.

⁷MQTT es un protocolo de mensajería estándar para aplicaciones IoT (Internet de las cosas), ideal para conectar dispositivos remotos con un uso de ancho de banda mínimo [51].

Capítulo 3

Problema

3.1. Descripción Detallada del Problema Abordado

Minera Spence posee una Política de Desarrollo Sostenible, donde declara el compromiso de compartir la responsabilidad de cumplir con las obligaciones impuestas con sus empleados, empresas colaboradoras, proveedores, clientes, socios comerciales y comunidades vecinas. Además declara sus metas autoimpuestas como exitosas cuando obtenga la valoración de parte de las comunidades vecinas como receptoras de los beneficios sociales, medioambientales y económicos duraderos a la sociedad.

Entendida la presencia de material particulado como un problema transversal aún sin solución en la industria minera, Minera Spence declara la necesidad de gestionar sus actividades operacionales para evitar superar las normas diarias y anuales para material particulado y, para ello, requiere mejorar sus procesos para incrementar el nivel de información relacionada para tomar mejores decisiones.

Se busca, entonces, un sistema para aumentar la calidad de la información relacionada con el impacto ambiental y que permita informar activamente a los actores relevantes de esta problemática. Para ello, se implementará un nuevo sistema de monitoreo de impacto ambiental y meteorológico y se implementará un sistema de información para disponibilizar los datos en forma oportuna y segura.

Con estas herramientas, Minera Spence pretende responder a sus propias exigencias de respeto al medio ambiente, las de la autoridad sanitaria que apunta al cuidado global del entorno minero y a la comunidad, que necesita cambiar la percepción actual de la faena minera como un ente meramente contaminador.

Desde el inicio de los trabajos de desarrollo de la mina, es decir, el rajo y sus instalaciones, Minera Spence cuenta con un sistema de monitoreo ambiental y meteorológico. La modernización de las técnicas de muestreo, las tecnologías de información y las nuevas normativas respecto a la presencia de material particulado, hacen necesario la actualización de este sistema.

El servicio actual de monitoreo de variables ambientales en Minera Spence es irregular y trabaja con información heterogénea, los equipos involucrados no son de propiedad de Minera Spence y los datos fuente se encuentran fuera de la empresa, representando esto un riesgo para su gestión operacional ambiental.

Si bien, los sensores, monitores y dataloggers utilizados están actualizados al estado del arte, el manejo de información se realiza en forma manual con escasas medidas de seguridad. Los datos son recolectados en terreno mediante discos duros portátiles o memorias USB, su procesamiento es centralizado en las oficinas de un proveedor externo, su almacenamiento se realiza en forma de planillas de datos en archivo de texto plano y el medio de comunicación y transmisión a la minera es mediante correo electrónico o enlaces a sitios para compartir archivos.

El cliente de este servicio es el área HSEC perteneciente a la Gerencia de Sustentabilidad de Minera Spence, cuyos ingenieros analizan los datos mediante el uso de planillas de datos Microsoft Excel para convertirlos en información útil para propósitos internos de monitoreo y mitigación y de comunicación externa. Es esta el área responsable de responder a la autoridad frente a episodios de superación de normas y de mantener informada a la comunidad de los reales efectos de la faena en la salud de sus habitantes.

En la actualidad el servicio, llevado por un contratista, no logra abarcar todas las necesidades de respuestas oportunas de la minera, a los problemas técnicos evidenciados se agregan los de un soporte deficiente, tiempos de respuestas prolongados, baja disponibilidad del servicio y la pérdida de datos y la existencia de un contrato inflexible y de proveedores desalineados con los objetivos del área y de Minera Spence.

Por otro lado, los centros poblados cercanos a la faena minera, a través de sus dirigentes y autoridades, manifiestan constantemente su preocupación por el posible impacto en la salud de las personas del material en suspensión que produce una faena minera en etapas tempranas de desarrollo con grandes movimientos de material inerte y de granulometría muy baja, en otras palabras, reclaman por la nube de polvo que se aprecia cómo se levanta desde el rajo de la mina en aquellos días con poco viento.

Surge la necesidad de mantener informada a la comunidad y sus representantes del impacto objetivo y medido que muestren la efectividad de las medidas de mitigación tomadas por la minera. El inmediato requerimiento es la instalación de una estación de monitoreo al interior del centro poblado, específicamente en el centro de la comuna de Sierra Gorda.

3.2. Levantamiento de Requerimientos

La tabla 3.1 muestra el resultado del levantamiento de requerimientos.

n°	Requerimiento	Carácter
1	Permitir Agregar/mantener/eliminar estaciones a la red de monitoreo.	Obligatorio
2	Permitir Agregar/Mantener/Eliminar sensores de una estación determinada, y configurar propiedades para su operación, por ejemplo; tipo de sensor, ubicación, frecuencia de medición, estado de operación, etc.).	Obligatorio
3	Permitir el registro automático y programado de los datos generados por los sensores de todas las estaciones pertenecientes a la red.	Obligatorio
4	Implementar un mecanismo de alertas que informe al usuario respecto de incidentes relativos a la operación de los sensores y de los sistemas de comunicación instalados en las estaciones de monitoreo (por ejemplo: informar cuando un sensor ha dejado de transmitir después de n minutos, o cuando los valores medidos exceden los rangos permitidos).	Requerido
5	Permitir la clasificación de los datos para cada sensor (válidos, inválidos, solicitud de invalidar) con una interfaz para manejar intervalos de tiempo. Se pueden crear otras clasificaciones. Uso: <ul style="list-style-type: none"> ● Marcar aquellos valores que, por ser extremos, puedan alterar las estadísticas de medición. ● Marcar los datos que se vean alterados como resultado de una mantención o trabajo. ● Justificar los valores inválidos de acuerdo a una tipificación definida (usar por ejemplo tabla de tipificación del artículo 17, Título IV del reglamento N° 61 -Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricas- del ministerio de Salud). 	Requerido
6	Disponer de una interfaz gráfica, que permita ubicar fácilmente las estaciones que constituyen la red de monitoreo del yacimiento, y con señalética que permita al usuario determinar el estado de operación de cada estación.	Deseable
7	Para cada estación permitir desplegar información en línea de datos ambientales y meteorológicos (incluyendo rosa de vientos)	Requerido

n°	Requerimiento	Carácter
8	<p>Para cada estación disponer de mecanismos para visualizar o descargar datos históricos (rangos de fecha) de monitoreo en formato gráfico y/o series de datos, de acuerdo a los siguientes criterios:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permitir seleccionar fecha o rango de fechas de los datos. • Considerar distintas resoluciones temporales: minutos, hora, día, mes. (Promedios). • Seleccionar dos o más variables para una estación y/o la misma variable para diferentes estaciones. • Cálculo de Máximo, Mínimo y Promedio para un período dado. 	Obligatorio
9	<p>Disponer de una interfaz que permita, mediante el ingreso manual de datos, configurar los niveles de material particulado, para cada hora del día dentro de un mes y año determinado. Los niveles a considerar son los siguientes;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nivel 1 (verde) • Nivel 2 (amarillo) • Nivel 3 (rojo) <p>Esta definición es necesaria para la generación de informes y gráficos.</p>	Obligatorio
10	<p>Para cada estación disponer de mecanismos para visualizar:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Gráficos de material particulado PM10 (promedio horario) de las últimas 36 horas • Gráficos de material particulado de las últimas 12 horas. • Datos en línea de la estación en curso. • La Bitácora de acciones realizadas en la estación, en la cual, el operador tiene posibilidad de ver las acciones registradas del último mes, e ingresar nuevas acciones. <p>En el caso de ingreso de acciones, la interfaz debe ser amigable (ventana parametrizada) donde el usuario y fecha de la acción sean proporcionados por el sistema, exista la posibilidad de tipificar la acción (detención, chequeo, reg. condición climática y otros no tipificados y finalmente descripción de la acción.</p> <p>Si el usuario conectado tiene perfil de administrador, el sistema debe otorgar la posibilidad de consultar información histórica de esta bitácora.</p>	Obligatorio

n°	Requerimiento	Carácter
11	<p>Es necesario contar con una bitácora con información de eventos operacionales de la red de monitoreo, en la cual, dependiendo del perfil del usuario conectado;</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sea posible registrar un evento asociado a una o más estaciones identificando; asunto, detalle, autor(es), estación(es) y fecha-hora. • o exista la posibilidad de listar (filtrando por estación, mes y año) los eventos registrados. 	Obligatorio
12	<p>El sistema debe disponer de mecanismos de ingreso manual de datos, específicamente para el caso de PM10-HiVol¹, el que no es en línea. Asociado a esto debe existir una bitácora que registre la recepción e ingreso de PM10-Hivol con la posibilidad de filtros por año y mes.</p>	Obligatorio

¹Un muestreador de alto volumen es un equipo que captura una cantidad medible de aire hacia una caja de muestreo a través de un filtro durante un periodo de 24 horas. El filtro es pesado antes y después para determinar el peso neto ganado. El volumen total de aire muestreado se determina a partir de la velocidad promedio de flujo y el tiempo de muestreo. La concentración total de partículas en el aire ambiente se calcula como la masa recolectada dividida por el volumen de aire muestreado, ajustado a algunas condiciones de referencia determinadas inicialmente[52].

n°	Requerimiento	Carácter																																								
13	<p>El sistema debe incorporar un mecanismo de perfilamiento flexible, el cual:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permita crear/modificar perfiles. • Crear/modificar/eliminar usuarios. • Asociar opciones del sistema a un Perfil. • Asociar usuarios a uno o varios perfiles. <p>Como primera aproximación tenemos:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th><i>Operador</i></th> <th><i>Data User</i></th> <th><i>Admin.</i></th> <th><i>Técnico</i></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Funcionalidad</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Escritorio (mapa del yacimiento con información online de las estaciones)</td> <td>X</td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Datos (Informes y Gráficos)</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Operación</td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Bitácora (eventos operacionales y eventos de la red de monitoreo)</td> <td>X</td> <td></td> <td>X</td> <td>X</td> </tr> <tr> <td>Input (ingreso de datos)</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Administración (configuración de estaciones, seguridad, parámetros del sistema y su operación)</td> <td></td> <td></td> <td>X</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>		<i>Operador</i>	<i>Data User</i>	<i>Admin.</i>	<i>Técnico</i>	Funcionalidad					Escritorio (mapa del yacimiento con información online de las estaciones)	X	X	X		Datos (Informes y Gráficos)		X	X		Operación	X		X		Bitácora (eventos operacionales y eventos de la red de monitoreo)	X		X	X	Input (ingreso de datos)			X		Administración (configuración de estaciones, seguridad, parámetros del sistema y su operación)			X		Obligatorio
		<i>Operador</i>	<i>Data User</i>	<i>Admin.</i>	<i>Técnico</i>																																					
	Funcionalidad																																									
	Escritorio (mapa del yacimiento con información online de las estaciones)	X	X	X																																						
	Datos (Informes y Gráficos)		X	X																																						
	Operación	X		X																																						
	Bitácora (eventos operacionales y eventos de la red de monitoreo)	X		X	X																																					
Input (ingreso de datos)			X																																							
Administración (configuración de estaciones, seguridad, parámetros del sistema y su operación)			X																																							
14	El nuevo sistema permitirá la integración de datos generados por sistemas complementarios de origen externo.	Requerido																																								
15	El nuevo sistema no requerirá de data generada antes en otros sistemas.	Obligatorio																																								
16	La marcha blanca del nuevo sistema no se realizará en paralelo con el actual sistema.	Obligatorio																																								

Tabla 3.1: Resultado del levantamiento de requerimientos.

3.3. Criterios de Evaluación

Debido al alto nivel de complejidad que presenta la instalación de aplicativos externos en los sistemas de la minera, uno de los hitos más relevantes al momento de evaluar el éxito del proyecto es el inicio de la Etapa Operativa, pues implicaría que se han sorteado satisfactoriamente los requerimientos técnicos solicitados.

En el ámbito de la calidad de los datos, se definirán métricas de evaluación que resguarden los atributos de unicidad, completitud, integridad y disponibilidad; quedando siempre la posibilidad de extender esta lista.

Además de las métricas cuantitativas, se considerarán medidas cualitativas relacionadas con la satisfacción de los clientes y los usuarios del Sistema de Información de Gestión Ambiental, específicamente, la usabilidad de las interfaces desarrolladas.

Capítulo 4

Solución

4.1. Diseño del Sistema

Se busca disponibilizar los datos del sistema de monitoreo de la calidad del aire y meteorología mediante un Sistema de Información de Gestión Ambiental en línea para el área HSEC de la Gerencia de Sustentabilidad de Minera Spence.

El desarrollo del sistema se descompone en las siguientes fases:

1. Evaluación
2. Concepto
3. Especificaciones
4. Desarrollo
5. Revisión Interna
6. Operación

Las principales funcionalidades del sistema son:

- Despliegue en línea de la información provista por las estaciones de monitoreo.
- Despliegue gráfico de la información y niveles de alerta predefinidos por el cliente.
- Almacenamiento y respaldo de los datos recopilados.

Uno de los requerimientos fundamentales de este proyecto es realizarlo siguiendo los requerimientos planteados en el documento “Guía de Incorporación de Nuevos Aplicativos” de IBM¹ y BHP. Dentro de estos requerimientos está la ubicación de los datos fuente y del servidor central del sistema, ambos deberán estar alojados físicamente dentro de Minera Spence.

En este mismo sentido, se considera realizar el desarrollo de los sistemas en un servidor temporal de desarrollo de características idénticas al servidor de producción, ambos equipos son provistos por el cliente, siempre basado en las políticas vigentes de información y recursos computacionales.

La recopilación de datos se considera realizarla a través de sistemas de comunicación inalámbrica que permita poder acceder a distancia a las fuentes: los equipos de medición meteorológica y de calidad del aire.

La transmisión de información hasta un punto de almacenamiento podrá realizarse a través de diferentes medios de acuerdo a las características de conectividad de los lugares donde se encuentren las estaciones de monitoreo y la disponibilidad de señal de comunicación.

¹IBM es la empresa externa a cargo de la infraestructura informática y su explotación.

Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

A continuación se entrega una serie de definiciones con el objetivo de facilitar la comprensión del diseño y sus componentes. En la tabla 4.1 se puede encontrar cada concepto utilizado en el sistema junto a su definición.

Concepto	Definición
Panel de Control	Pantalla de inicio del sistema que permite visualizar el mapa del yacimiento y un gráfico de material particulado respirable PM10 para cada estación con las últimas observaciones.
Cliente	Corresponde a la organización propietaria de un conjunto de yacimientos.
Proyecto Minero	Agrupación de información referente al yacimiento en el que se instalan estaciones de monitoreo.
Estación	Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas y ambientales.
Sensor	Instrumento de medición que se instala al interior de la estación.
Variable	Término utilizado para hablar lógicamente de una variable ambiental, ejemplo: Temperatura ambiental, humedad relativa, etc.
Niveles de Monitoreo	Es el límite superior que puede alcanzar un valor para una variable determinada, entre las 0 y las 23 horas, para un mes determinado.
Perfil	Un perfil permite definir los permisos a los que tiene derecho un grupo de usuarios.
Usuario	Aquella persona que tiene un registro en el sistema y un perfil asociado.
Funcionalidad	Funcionalidad del sistema, por ejemplo, acceso a listados paramétricos.
Red de Monitoreo	Es el mapa de la red de monitoreo, la que está conformada por las estaciones: Sierra Gorda, Campamento y Policlínico.

Tabla 4.1: Definiciones, Acrónimos y Abreviaturas

4.1.1. Metodología

A continuación se presenta en detalle la metodología utilizada durante este trabajo, las 6 fases en la que fue dividido y sus correspondientes objetivos. Esta definición responde a la adaptación del modelo de desarrollo en cascada² y a los requerimientos informáticos para desarrollos externos a la minera.

Esta metodología busca no solo cumplir con los requisitos técnicos sino también garantizar una integración efectiva con los procesos y objetivos de Minera Spence, asegurando así un sistema de monitoreo ambiental que sea robusto, útil y alineado con los estándares y políticas de aplicativos externos de BHP.

1. Fase de Evaluación

- Revisión exhaustiva de las funcionalidades actuales del sistema de monitoreo ambiental.
- Identificación de elementos a rescatar que demuestren eficacia y eficiencia, así como aspectos a desechar por obsolescencia o falta de relevancia.
- Evaluación de la retroalimentación de los usuarios actuales para comprender las áreas de mejora.

2. Fase de Concepto

- Sesiones de trabajo para comprender las expectativas y necesidades del usuario final.
- Creación de un documento conceptual que sirva como guía para el desarrollo, basado en los objetivos estratégicos de la empresa.

3. Fase de Especificaciones

- Detallado levantamiento de todas las funcionalidades y requerimientos identificados.
- Definición clara de los aspectos técnicos y tecnológicos del sistema.
- Validación continua con Minera Spence para garantizar la alineación con sus objetivos y expectativas.

4. Fase de Desarrollo

- Desarrollo del sistema de transmisión de datos y del sistema de información centralizado y su interfaz de usuario según las especificaciones acordadas.
- Desarrollo iterativo con revisiones periódicas para ajustar según feedback.
- Adopción de tecnologías y estándares establecidos por BHP y validados por IBM.

²El modelo de desarrollo en cascada es un modelo de ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC para su sigla en inglés) donde las fases son secuenciales, lo que se traduce en un modelo de avance sostenido que se enfoca en las etapas iniciales del desarrollo. Su utilización es recomendable en proyectos de tamaño mediano o pequeño, donde los requisitos están definidos con precisión o en proyectos grandes con muchas áreas relacionadas [53] [54].

5. Revisión del Sistema por parte de IBM y Marcha Blanca

- Inicio de la marcha blanca.
- Revisión de la documentación.
- Sometimiento del sistema a pruebas rigurosas de carácter internas del cliente.
- Correcciones iterativas basadas en los resultados de las pruebas unitarias y de integración.

6. Fase Operativa

- Migración del sistema a entorno operativo.
- Monitoreo continuo durante las primeras etapas para garantizar la estabilidad y eficacia.
- Implementación de mecanismos de retroalimentación para mejorar continuamente el sistema en función de su desempeño real.

4.1.2. Arquitectura del sistema

La arquitectura general del sistema de monitoreo ambiental de calidad del aire está dividida en 4 capas (ver figura 4.1).

- Captura de Datos.
- Comunicaciones.
- Almacenamiento y Procesamiento.
- Disponibilización.

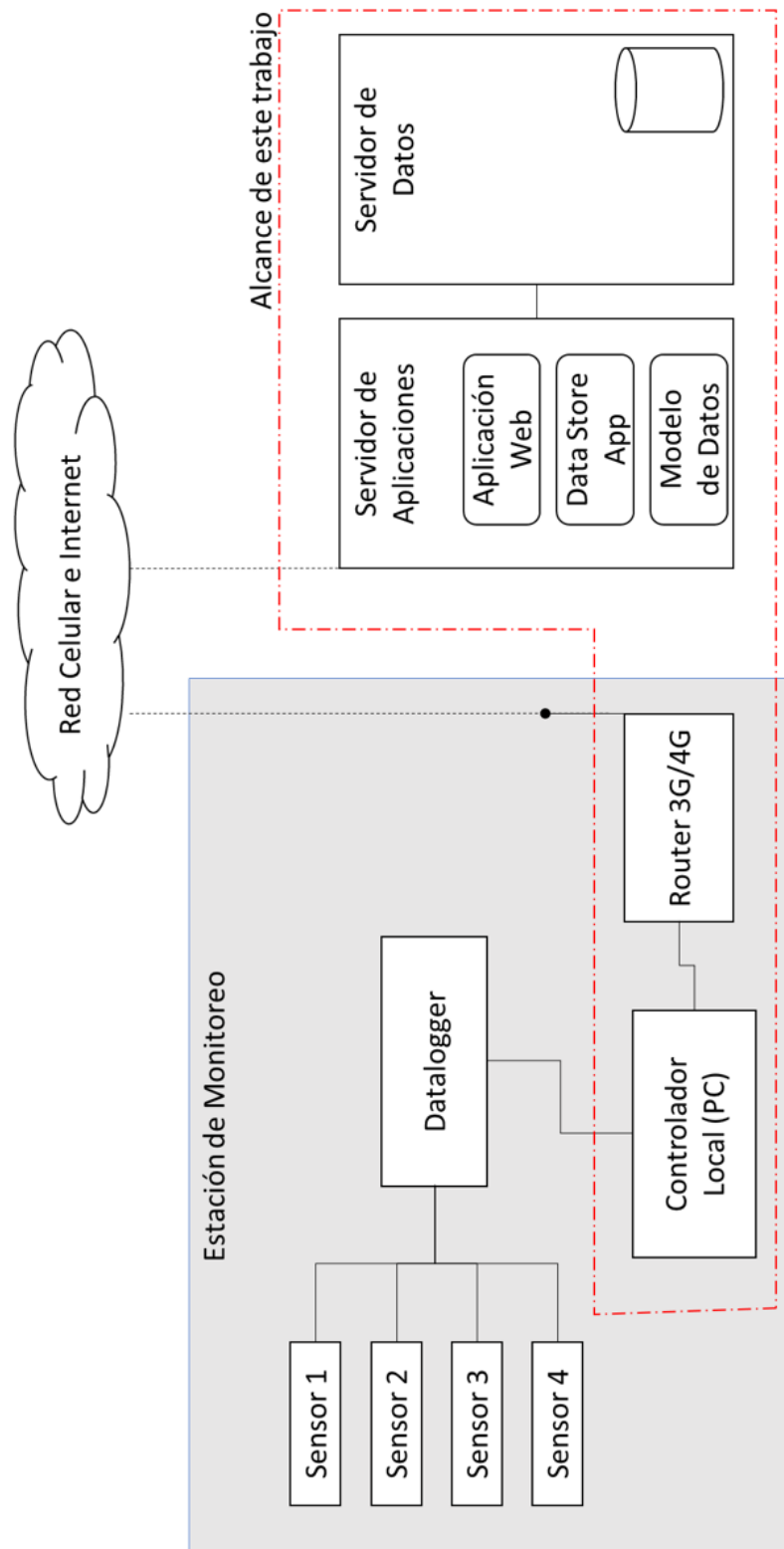


Figura 4.1: Arquitectura modular del sistema de monitoreo

a. Capa de Captura de Datos

En esta capa se incluyen la variedad de sensores y dispositivos para medir contaminantes atmosféricos, humedad, temperatura y otros parámetros. Éstos han sido desplegados en ubicaciones estratégicas para obtener una representación precisa de la calidad del aire.

El datalogger es un dispositivo electrónico diseñado para recopilar y almacenar datos de sensores y otros dispositivos de medición en intervalos regulares, cuenta con puertos o canales de entrada para conectar diferentes tipos de sensores, es aquí donde se almacenan localmente los datos capturados desde los sensores. Los dataloggers cuentan con diferentes interfaces de recolección de datos, todas ellas por lotes de datos (conexión serial, vía TCP/IP vía Ethernet, pendrive USB).

La Unidad de Control Local (o PC de control) es la entidad que extrae desde el datalogger los datos y los prepara para su transmisión, incluye almacenamiento temporal de datos antes de su envío, como respaldo en caso de pérdida de comunicación o de datos durante la transmisión.

Actúa como un gateway entre la capa de captura de datos y la de transmisión.

b. Capa de Comunicaciones

Los datos recopilados por las unidades de control se transmiten a través de conexiones inalámbricas de larga distancia, 3G/4G/5G, dependiendo de la cobertura local existente de los proveedores de telefonía celular, hacia una plataforma central.

Un router 3G/4G/5G es el dispositivo que, mediante tecnologías móviles de alta velocidad, proporciona el acceso a Internet confiable en lugares donde las opciones de conectividad tradicional son limitadas o inadecuadas.

Usualmente utiliza más de 1 tarjetas SIM de operadoras móviles para acceder a las redes 3G/4G/5G entregando redundancia de conexión.

c. Capa de Almacenamiento y Procesamiento

Los datos llegan a la plataforma contenida en el servidor central donde se almacenan para una gestión eficiente y segura de los datos capturados. El diseño de esta capa contempla un almacenamiento de largo plazo, sus respaldos y las capacidades de recuperación en caso necesario.

c.1. Data Store App Es la herramienta que automatiza el proceso de recibir datos a través de SCP y luego almacenarlos en una base de datos para su uso posterior. Proporciona una forma eficiente y segura de transferir información desde ubicaciones remotas a una base de datos centralizada.

Módulos por funciones:

Recepción Segura de Datos: La aplicación establece una conexión segura utilizando el protocolo SCP para recibir archivos de datos desde una ubicación remota. Esta seguridad se logra mediante la autenticación y la encriptación de los datos transferidos.

Procesamiento de Datos: Una vez que los archivos de datos son recibidos, la aplicación los procesa según un formato predefinido. Esto puede incluir la extracción de información específica de los archivos, como valores numéricos, texto o estructuras de datos más complejas.

Conexión a la Base de Datos: La aplicación se conecta a una base de datos seleccionada, en este caso una base de datos PostgreSQL, utilizando las credenciales y la información de conexión apropiadas, siempre siguiendo las reglas de acceso seguro a los datos.

Inserción en la Base de Datos: La información procesada se inserta en la base de datos en forma de registros en las tablas previamente definidas.

Gestión de Errores: La aplicación incluye manejo de errores para asegurarse de que los datos se inserten correctamente en la base de datos. Si hay problemas durante el proceso de inserción, se generan registros de errores para su revisión y resolución.

Notificaciones y Reportes: La aplicación generará registros automatizados para informar a los usuarios sobre el éxito o el fracaso de los distintos procesos de recepción y almacenamiento de datos.

c.2. Modelo de Datos Es el conjunto de entidades responsable de la gestión y el procesamiento de los datos de la aplicación, así como de la implementación de las reglas y lógica del negocio. Las entidades se han agrupado en cuatro grupos: seguridad, infraestructura, análisis de datos y operación.

En capítulos posteriores se detalla el modelo de datos implementado.

d. Capa Disponibilización

La capa de Disponibilización es la encargada de entregar las capacidades a los usuarios para interactuar con los datos, obtener información y visualizarlos de manera gráfica, específicamente con las interfaces requeridas.

Contempla un Panel de Control con acceso seguro y jerarquizado por perfiles, una interfaz para filtrar los datos en forma temporal, por estación y por variables para el despliegue gráfico de datos o su exportación en forma de archivo.

4.1.3. Arquitectura Funcional

La arquitectura funcional y la infraestructura para el desarrollo del Sistema de Información de Gestión Ambiental se rigen por el modelo MVC (Modelo-Vista-Controlador), permitiendo separar la data de la lógica de negocio, y a su vez, independizar esta última de la capa de presentación.

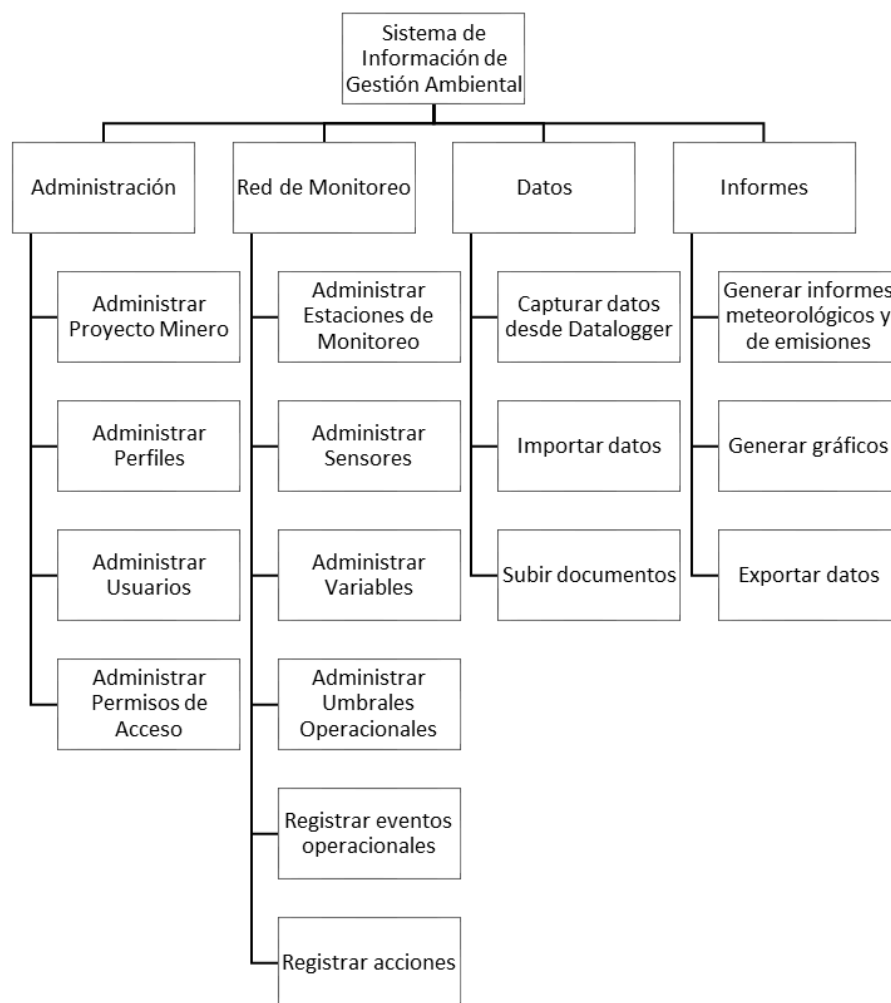


Figura 4.2: Diagrama de Descomposición Funcional del sistema

La figura 4.2, muestra el Diagrama de Descomposición Funcional del sistema que clarifica el comportamiento general del sistema, mostrando los principales componentes y entorno de trabajo que serán utilizados para su construcción. .

Por otro lado, la tabla 4.2 se muestra la Infraestructura preliminar del Sistema.

Capa	Tecnología	Descripción
Modelo	Framework Spring	Soporte para la persistencia de objetos y el mapeo objeto/relación.
	PostgreSQL	Motor de base de datos relacional orientada a objetos.
Controlador	Jakarta Tomcat	Servidor Web.
Vista	JSP (Java Server Pages)	Tecnología Java para la generación de contenido web dinámico.
	Framework jQuery 1.3	Biblioteca multiplataforma de JavaScript que soporta la manipulación de documentos HTML, el manejo de eventos y Ajax.

Tabla 4.2: Infraestructura preliminar del Sistema

4.1.4. Modelo de Datos

Ahora se describe el modelo de datos del Sistema de Gestión Ambiental (ver figura 4.3). Para una mejor comprensión, se ha dividido el modelo de datos clasificando las entidades de acuerdo al servicio que prestan al modelo global, identificándolas dentro del modelo por medio de colores, los cuales se describen en la tabla 4.3.

Color	Grupo	Descripción
Amarillo	Seguridad	Entidades requeridas para cubrir los requerimientos asociados al perfilamiento de los usuarios.
Celeste	Infraestructura	Conjunto de entidades que dan soporte a la red de estaciones de monitoreo de un yacimiento específico, para un cliente en particular. La red está compuesta por estaciones de monitoreo, las que, a su vez, están compuestas por sensores configurados con las variables a medir.
Verde	Análisis	Conjunto de entidades necesarias para, el almacenamiento y análisis de la data capturada por los sensores de la red de monitoreo.
Gris	Operación	Lo concerniente al registro de eventos y acciones de la red de monitoreo.

Tabla 4.3: Grupos de Servicio para el Modelo de Datos.

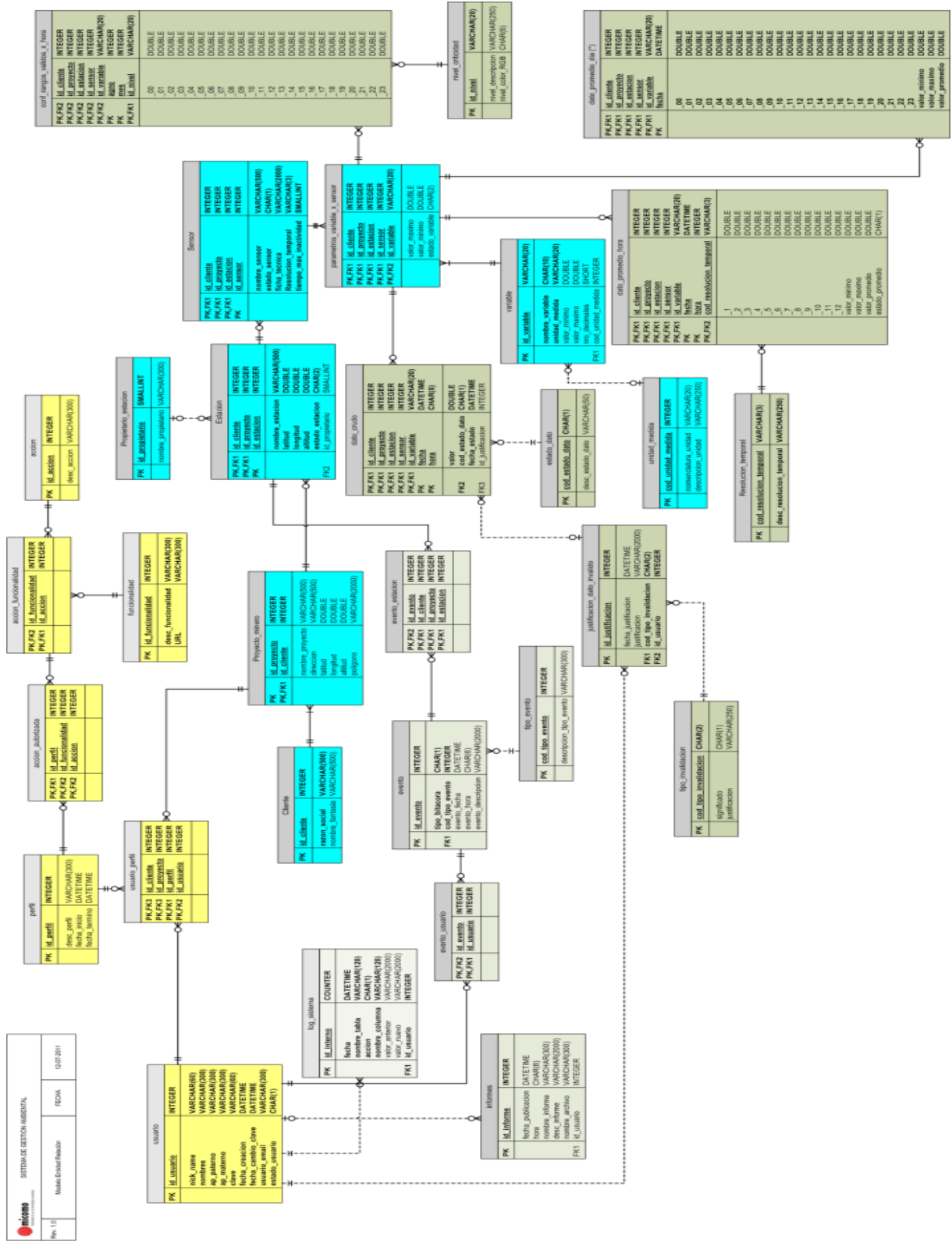


Figura 4.3: Modelo Entidad Relación para la base de datos del sistema.

4.1.5. Flujo de Navegación

A continuación se presentan las funcionalidades para la aplicación web del Sistema de Gestión Ambiental con un enfoque jerárquico de navegación, esto con el objetivo de tener una mejor comprensión sobre la navegación posible a realizar dentro del sistema. La figura 4.4 muestra el diagrama correspondiente al flujo de navegación.

Para hacer uso del Sistema, el usuario debe estar autenticado al dominio de la organización y existir como usuario registrado del sistema de gestión. Si el usuario no ha sido registrado en el sistema, aparecerá un mensaje indicando la negación de acceso.

Si el usuario tiene los permisos necesarios podrá visualizar el Panel de Control con las opciones de menú correspondientes, las cuales son: Operación, Configuración, Datos y Ayuda, siempre dependiendo de su perfil de usuario.

Para mayor comprensión se describe, brevemente, las opciones dispuestas en el menú.

Menú de Operación

Dentro de las opciones del Menú de Operación se encuentran las opciones de:

- Registro de Acciones: Permite realizar el registro y consulta –si se cuenta con los permisos- de acciones dentro de una estación.
- Registro de Eventos Operacionales: Permite realizar el registro de eventos operacionales dentro de una estación.
- Pronóstico ambiental y de impacto: Permite visualizar el pronóstico de las variables ambientales y los índices de PM10.
- Radiación Solar San Pedro de Atacama: Permite consultar la radiación solar de la zona de San Pedro de Atacama.
- Salir del Sistema: Permite al usuario salir del sistema.

Menú de Configuración

Dentro de las opciones del menú de Configuración se tiene: Cliente, Proyecto Minero, Estaciones, Niveles de Monitoreo y Seguridad.

- Cliente: Permite realizar la administración de los Clientes.
- Proyecto Minero: Permite realizar la configuración de un Proyecto Minero para un cliente en particular.

- Estaciones: Permite realizar la configuración de una estación, sus sensores y los perfiles autorizados para su visualización, siempre pertenecientes a un proyecto minero.
- Niveles de Monitoreo: Permite realizar la configuración de los niveles de monitoreo para las variables de un sensor para una estación perteneciente a un proyecto minero.
- Seguridad: Permite realizar la configuración de Seguridad dentro del sistema. Cuenta con los submenús: Perfiles y Usuarios.
 - Perfiles: Permite realizar la configuración de Perfiles, realizando las asignaciones de funcionalidades a los perfiles.
 - Usuarios: Permite realizar la configuración de Usuario incluyendo la asignación de perfiles.

Menú de Datos

Dentro de las opciones del menú de Datos se encuentran las opciones de:

- Históricos: Permite realizar la consulta de datos históricos en forma paramétrica para una estación, una variable, una frecuencia y un rango de fechas.
- Gráficos: Permite realizar la consulta de datos para representarlos gráficamente.
- Ingreso PM10-HiVol: Permite realizar el ingreso de información referente a los niveles de PM10-HiVol.
- Informes: Capacidad de subir y listar archivos.

Menú de Ayuda

Dentro de las opciones del menú de Ayuda se encuentran las opciones de:

- Ayuda SIGA: Entrega al usuario la orientación necesaria para el uso del Sistema de Gestión Ambiental.
- Acerca de...: Entrega información referente al Sistema de Gestión Ambiental.

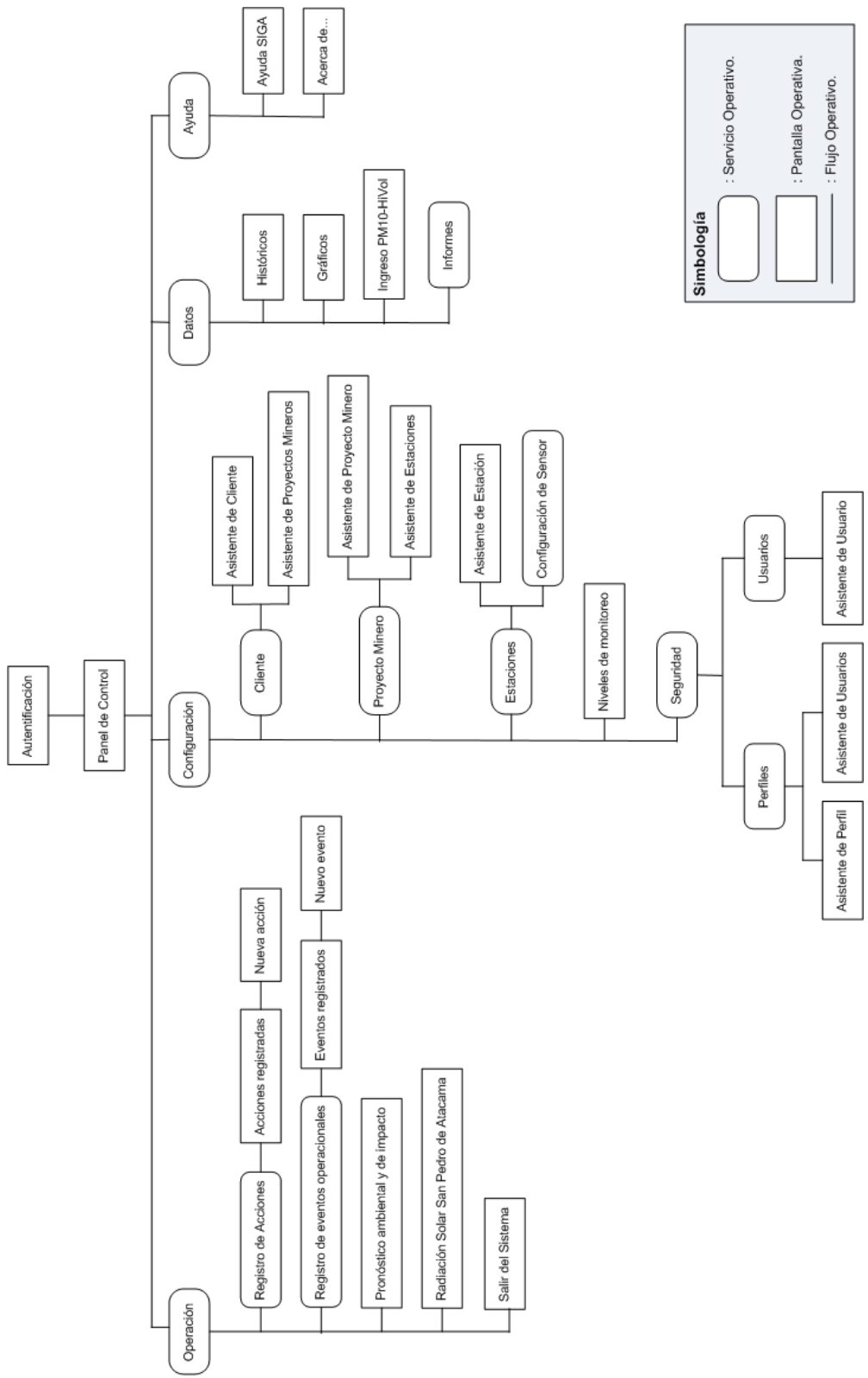


Figura 4.4: Diagrama de Flujo de Navegación del Sistema de Gestión Ambiental.

4.1.6. Esquema de Seguridad

Perfiles de Acceso

El Sistema cuenta con un esquema de seguridad de acceso definido de acuerdo a los requerimientos del usuario. Este esquema presenta tres tipos de perfiles de uso del sistema, los cuales son:

- Súper Usuario
- Administrador
- Operador

El uso de Perfiles permite habilitar distintas funcionalidades a distintos usuarios, de acuerdo a los permisos o cargos que tengan dentro de la organización, lo que garantiza la seguridad e integridad del sistema.

En términos prácticos, el perfilamiento de un usuario se restringe básicamente, al acceso que tiene o no, a una determinada acción dentro del sistema. Dicho acceso está controlado por el sistema mediante el método de autenticación del usuario en el equipo, el cuál entregará las llaves necesarias para la generación del menú correspondiente de acuerdo al perfil asignado.

Para clarificar el esquema de seguridad, se muestra en la tabla 4.4, las funcionalidades asignadas a cada perfil.

Respaldos

Este trabajo no requiere de un esquema de respaldos propio, puesto que los respaldos de la instalación interna de la minera son suficientes para asegurar la integridad de los datos del sistema, es decir, este sistema se encuentra inmerso dentro de las políticas internas de respaldos de BHP.

Menú	Funcionalidad	Perfil		
		<i>Súper Usuario</i>	<i>Administrador</i>	<i>Operador</i>
Operación	Panel de Control	X	X	X
	Registro de Acciones	X	X	X
	Registro de Eventos Operacionales	X	X	X
	Pronóstico Ambiental y de Impacto	X	X	
	Radiación Solar San Pedro de Atacama	X	X	
	Salir	X	X	X
Configuración	Cliente	X		
	Proyecto Minero	X	X	
	Estaciones	X	X	
	Niveles de Monitoreo	X	X	X
	Seguridad (Perfiles y Usuarios)	X		
Datos	Históricos	X	X	
	Gráficos	X		
	PM10-HiVol	X	X	
	Informes	X	X	
Ayuda	Ayuda	X	X	X
	Acerca de...	X	X	X

Tabla 4.4: Asignación de funcionalidades por perfil.

4.2. Implementación






A continuación revisaremos el resultado del proceso de desarrollo del sistema, mediante un ejemplo de navegación mostrado a través de capturas de pantalla del sitio web resultante.

4.2.1. Interfaz de Usuario

Iconografía

Recogidas las funcionalidades más utilizadas por los distintos usuarios se decidió confeccionar un Menú Principal que contiene todos los accesos directos a estas funcionalidades.

El despliegue de estos accesos directos está determinado por los permisos definidos, inicialmente en la sección 4.1.6 anterior de este documento, sin perjuicio que, como veremos a continuación, podrán ser modificados gracias a una funcionalidad especialmente diseñada para ello y solo accesible por el perfil de super usuario. La tabla 4.5 muestra el significado de cada uno de los iconos de este menú principal.

Ícono	Funcionalidad
	Identifica la ubicación de una Estación dentro de la red de monitoreo. Al hacer click sobre el ícono, se despliega una ventana con la información climática al instante en la estación.
	Acceso directo al Panel de Control. Al hacer click sobre el ícono, se restaura en la ventana principal el Panel de Control.
	Acceso directo al registro de Acciones. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite la visualización y registro de Acciones.
	Acceso directo al registro de Eventos Operacionales. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite la visualización y registro de Eventos Operacionales.
	Acceso directo al Pronóstico Ambiental y de Impacto. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite la visualización del Pronóstico Ambiental y de Impacto

Ícono	Funcionalidad
	Acceso directo a Radiación Solar San Pedro de Atacama. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite la visualización de la información de la radiación solar para San Pedro de Atacama.
	Acceso directo a Clientes. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la mantención de Clientes.
	Acceso directo a Proyecto Minero. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la mantención de Proyectos Mineros.
	Acceso directo a Estaciones. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la mantención de Estaciones.
	Acceso directo a Niveles de Monitoreo. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la configuración de los Niveles de Monitoreo.
	Acceso directo a Perfiles. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la mantención de Perfiles.
	Acceso directo a Usuarios. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la mantención de Usuarios.
	Acceso directo a Datos Históricos. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la consulta de Datos Históricos.
	Acceso directo a Gráfico Lineal Comparativo. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la generación del Gráfico Lineal Comparativo..
	Acceso directo a Gráfico Comparativo. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la generación del Gráfico Comparativo.
	Acceso directo a Gráfico Rosa de Vientos. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la generación del Gráfico Rosa de Vientos.







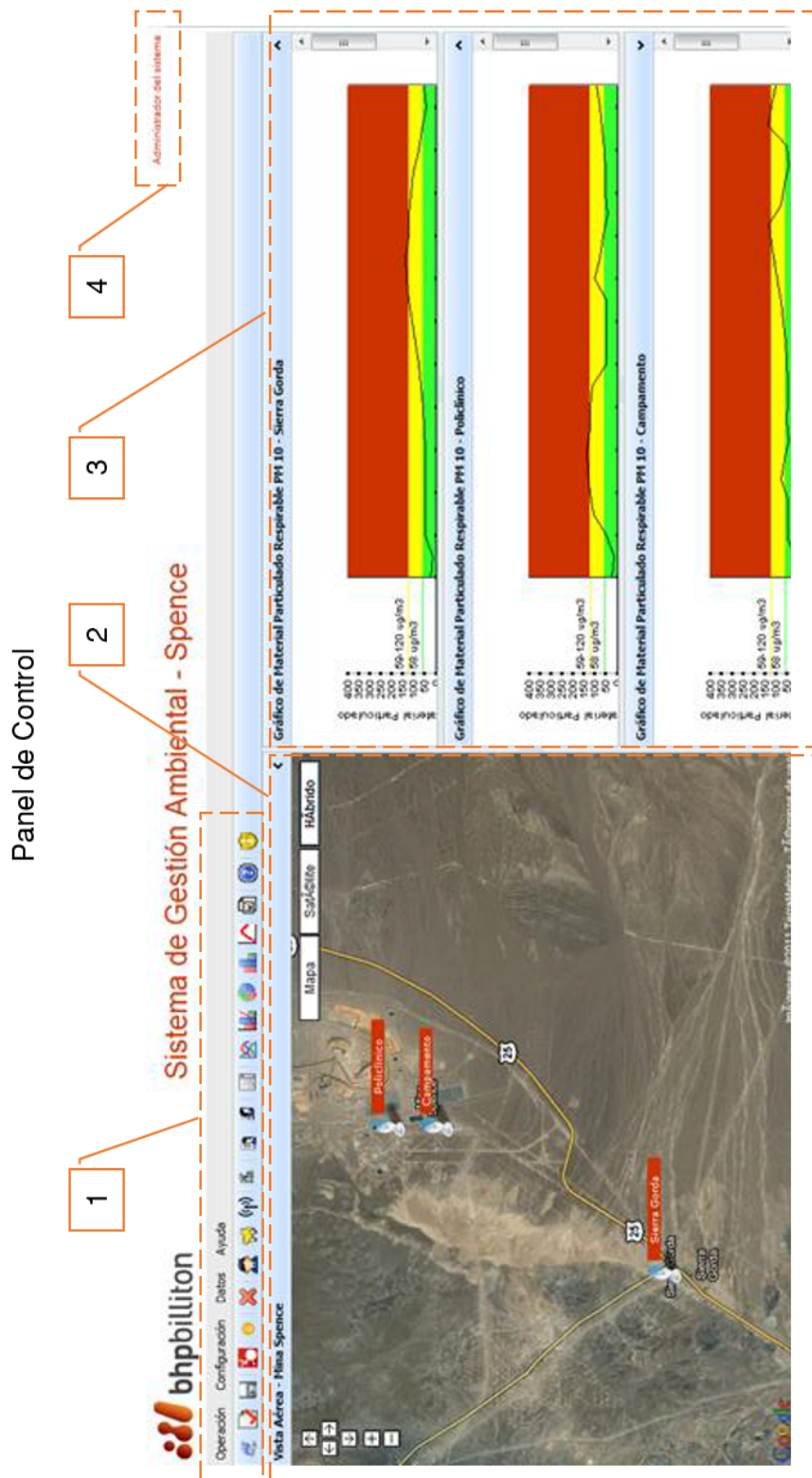
Ícono	Funcionalidad
	Acceso directo a Gráfico Percentil 98. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la generación del Gráfico Percentil 98.
	Acceso directo a PM10-HiVol. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar el ingreso manual de datos de los niveles de PM10-HiVol.
	Acceso directo a Informes. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite realizar la visualización y publicación de Informes.
	Acceso directo a Ayuda. Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que entrega orientación al usuario y cómo operar SIGA.
	Acceso directo a Acerca de. . . Al hacer click sobre el ícono, se despliega la ventana que permite visualizar la información Acerca de SIGA.
	Salir del Sistema. Al hacer click sobre el ícono, el usuario cierra su sesión en el sistema.

Tabla 4.5: Interfaz Web: Iconografía General

Panel de Control

La figura 4.5 muestra la convención adoptada como pantalla principal de este desarrollo, el layout estuvo determinado por una serie de iteraciones con el cliente y está pensada para entregar, en una primera entrada, el acceso a las funcionalidades más utilizadas, la ubicación de las estaciones de monitoreo en un mapa y los gráficos actuales con los datos de material particulado respirable PM10 de una estación en específico, finalmente, en la esquina superior derecha se encuentra la identificación del usuario actualmente trabajando en el sistema.



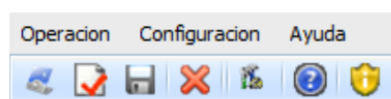
- 1: Menú Principal
- 2: Red de Monitoreo
- 3: Gráficos de Datos
- 4: Identificación del Usuario

Figura 4.5: Interfaz Web - Panel de Control - Captura de Pantalla

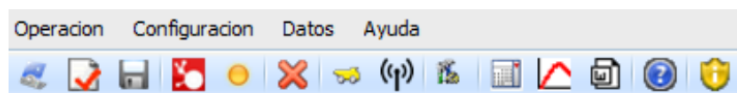
Menú Principal

El Menú Principal presenta al usuario, el menú de acceso a cada una de las funcionalidades que entrega el sistema. Este menú se encuentra dividido según contexto, los cuales son: Operación, Configuración, Datos y Ayuda.

Para facilitar el acceso al usuario, además de un menú desplegable, se encuentra disponible una barra de accesos directos, los que representan gráficamente las distintas funcionalidades. Dependiendo de los permisos entregados a cada perfil, se desplegarán los menús o los accesos directos correspondientes.



Menú Principal del Usuario: Operador



Menú Principal del Usuario: Administrador



Menú Principal del Usuario: Superusuario

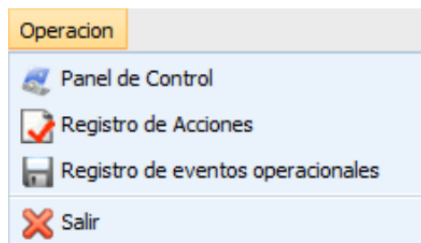
Figura 4.6: Interfaz Web - Menú Principal por Perfil de Acceso - Capturas de Pantalla

La figura 4.6 muestra el Menú Principal para cada uno de los perfiles de acceso en concordancia con su definición inicial, ver tabla 4.4.

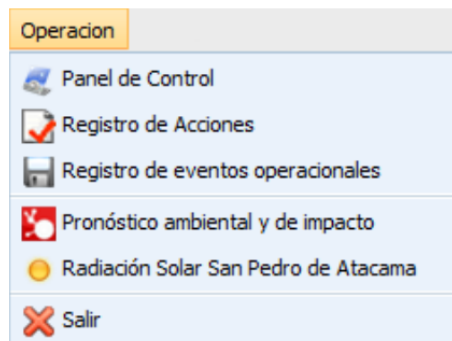
Menú de Operación

El Menú de Operación ofrece al usuario el acceso a las diferentes opciones de operación que puede realizar el usuario dentro del sistema, ver figura 4.7. Dependiendo del perfil del usuario, estas funcionalidades son:

- Panel de Control
- Registro de Acciones
- Registro de Eventos Operacionales
- Pronóstico Ambiental y de Impacto (solo para Administrador y Superusuario)
- Radiación Solar en San Pedro de Atacama (solo para Administrador y Superusuario)



Menú de Operación
Operador



Menú de Operación
Administrador y Superusuario

Figura 4.7: Interfaz Web - Menú de Operaciones por Perfil de Acceso - Capturas de Pantalla

A continuación se presenta una descripción de cada uno de estas funcionalidades, independiente de los accesos otorgados a cada perfil de usuario.

Panel de Control

El Panel de Control, tal como fue explicado anteriormente, es la interfaz principal del sistema y su misión es proporcionar, en la primera visualización, acceso rápido a las funciones más frecuentemente utilizadas. Posee un mapa con la ubicación de las estaciones de monitoreo, gráficos en tiempo real con datos de material particulado respirable PM10 de una estación específica y la identificación del usuario que está actualmente trabajando en el sistema.

La navegación para acceder a *Panel de Control* es:

- Usar el acceso directo *Panel de Control* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Operación → Panel de Control (ver figura 4.7).

La figura 4.8 muestra una captura de pantalla del Panel de Control del perfil Superusuario.

Registro de Acciones³

Esta funcionalidad se representa por una ventana donde se despliega el listado de las últimas acciones registradas en orden cronológico descendente, es decir, las más recientes en primer lugar, entrega los siguientes datos asociados a una acción: Fecha, Hora, Responsable, Detalle de la Acción, Tipo de Acción y Nombre de la Estación asociada (ver figura 4.9).

Si el usuario cuenta con los privilegios necesarios, se les desplegará el botón *Nuevo*, el que permite agregar una nueva entrada en esta bitácora, para esto, tendrá disponible una nueva ventana con un formulario donde deberá especificar al responsable de la acción, identificar la estación a ser intervenida, describir la acción realizada y el tipo de acción correspondiente (ver figura 4.10).

La navegación para acceder a *Registro de Acciones* es:

- Usar el acceso directo *Registro de Acciones* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Operación → Registro de Acciones (ver figura 4.7).

³Se define como *Acción* a toda actividad que se decide realizar para intervenir una estación de monitoreo.

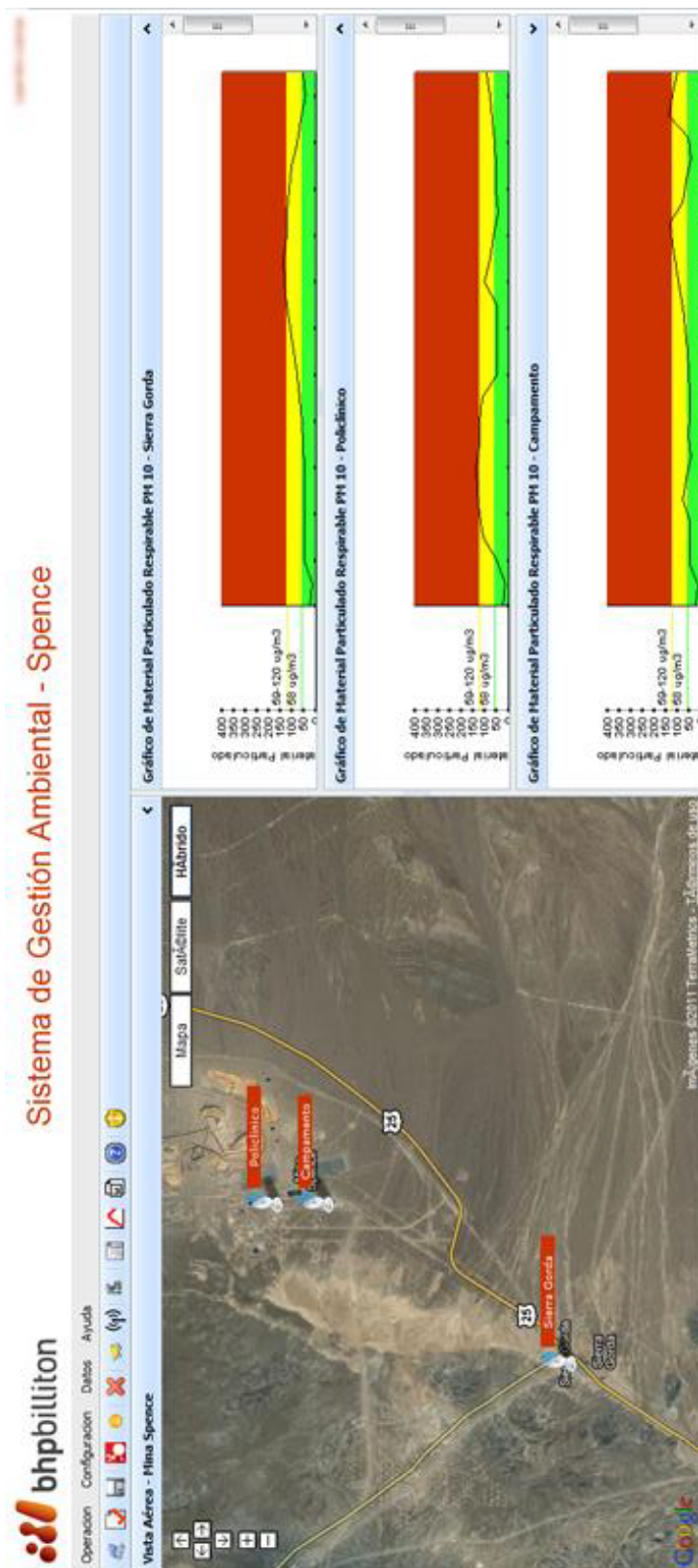


Figura 4.8: Interfaz Web - Panel de Control - Captura de Pantalla

Registro de Acciones

Nuevo

Fecha	Hora	Responsable	Detalle de Accion	Tipo	Estacion
08-07-2012	22:45	Fulano	Se inicia turno ----	Inicio de turno	Compartimento
08-07-2012	21:30	Sutano	se chequea sistema del sustrato ----	chequeo	Reduccion
08-07-2012	20:00	Mengano	Se detiene extrusion de agua	atencion	Tubo
08-07-2012	13:24	Propano	se entrega chequeado turno al servicio	chequeo	Compartimento
08-07-2012	00:00	Don nada	Extrusion offLine, ultimo captura a las 00:00	Extrusion fuera de linea	Compartimento
07-07-2012	22:00	Fulano	----	otro	Compartimento
07-07-2012	22:00	Mengano	---	Inicio de turno	Compartimento
07-07-2012	14:00	Don nada	---	Inicio de turno	Compartimento
06-07-2012	21:00	Sutano	---	Inicio de turno	Compartimento
06-07-2012	17:30	Mengano	---	Inicio de turno	Compartimento
06-07-2012	06:07	Fulano	---	Inicio de turno	Compartimento

Figura 4.9: Interfaz Web - Ventana Visualización Registro de Acciones - Captura de Pantalla

Nueva Accion

Responsable

Estación

Descripción

Tipo

Figura 4.10: Interfaz Web - Formulario Ingreso Nueva Acción - Captura de Pantalla

Registro de Eventos Operacionales⁴

Esta funcionalidad se representa por una ventana donde se despliega el listado de los últimos eventos operacionales en orden cronológico descendente y entrega los siguientes datos asociados a un evento: Fecha, Hora, Autor, Mensaje asociado al Evento, Tipo de Evento y Estación asociada (ver figura 4.11).



Fecha	Hora	Autor	Mensaje	Tipo de evento	Estacion
08-07-2012	22:45	Fulano	Fuertes vóllagos de viento se registran en aumento a partir de las 20:35.....	Suertes vóllagos de viento	Campamento
08-07-2012	21:35	Sutano	Se detecta a las 20:45 que la estación Campamento se encuentra fuera de línea.....	Estación fuera de línea	Campamento
08-07-2012	20:01	Mengano	Debido a falla en la base de poder del servidor de datos del sistema de monitoreo.....	Sistema de monitoreo fue Totales	
08-07-2012	13:24	Propeto	Producto del corte de energía en la estación campamento se pierde la comunicación con el servidor central.....	comunicacion interrumpida	Campamento
08-07-2012	09:01	Don este	Nuevo corte de energía afecta la operación de la estación.....	Corte de energía	Campamento
07-07-2012	23:12	Fulano	....	....	Campamento
07-07-2012	23:23	Mengano	....	....	Campamento
07-07-2012	14:33	Don Este	....	....	Campamento
06-07-2012	21:08	Sutano	....	....	Campamento
06-07-2012	17:36	Mengano	....	....	Campamento
06-07-2012	06:17	Fulano	....	....	Campamento

Figura 4.11: Interfaz Web - Ventana Visualización Eventos Operacionales - Captura de Pantalla

Si el usuario cuenta con los privilegios necesarios, se les desplegará el botón *Nuevo*, el que permite agregar una nueva entrada en esta bitácora, para esto, tendrá disponible una nueva ventana con un formulario donde deberá especificar al responsable del registro, identificar la estación afectada por el evento (puede ser más de una), un mensaje asociado al evento operacional y el tipo de evento (ver figura 4.12).

La navegación para acceder a *Registro de Eventos Operacionales* es:

- Usar el acceso directo *Registro de Eventos Operacionales* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Operación → Registro de Eventos Operacionales (ver figura 4.7).

⁴Se define como *Evento Operacional* a toda situación observada que afecta a una o más estaciones de monitoreo.

Figura 4.12: Interfaz Web - Formulario Ingreso Nuevo Evento Operacional - Captura de Pantalla

Pronóstico Ambiental y de Impacto

En la ventana de Pronóstico Ambiental y de Impacto se puede visualizar el pronóstico meteorológico más reciente registrado en el sistema de la estación de monitoreo más representativa del sistema, el pronóstico de calidad del aire de las estaciones ubicadas cercanas a centros poblados o de estadía de trabajadores, ambos en un periodo que comprende los próximos 5 días corridos (ver figura 4.13).

Se puede observar el uso de diferentes íconos, tipografías y colores para representar las diferentes condiciones de la calidad del aire:

- Condición Favorable, color verde.
- Condición Adversa, color anaranjado.
- Condición de Alerta, color rojo y letra negrilla

Cuenta con un menú para acceder a registros históricos de otros pronósticos y una página de preguntas frecuentes

La navegación para acceder a *Pronóstico Ambiental y de Impacto* es:

- Usar el acceso directo *Pronóstico Ambiental y de Impacto* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Operación → Pronóstico Ambiental y de Impacto (ver figura 4.7).



Figura 4.13: Interfaz Web - Ventana Visualización Pronóstico Meteorológico y Calidad del Aire - Captura de Pantalla

Radiación Solar San Pedro de Atacama

En la ventana de Radiación Solar San Pedro de Atacama se puede visualizar el registro de los últimos 10 días del índice UV-B⁵ de la estación de monitoreo externa (y no perteneciente a este sistema) ubicada en la localidad de San Pedro de Atacama, cuyos datos están disponibles para nuestro cliente.

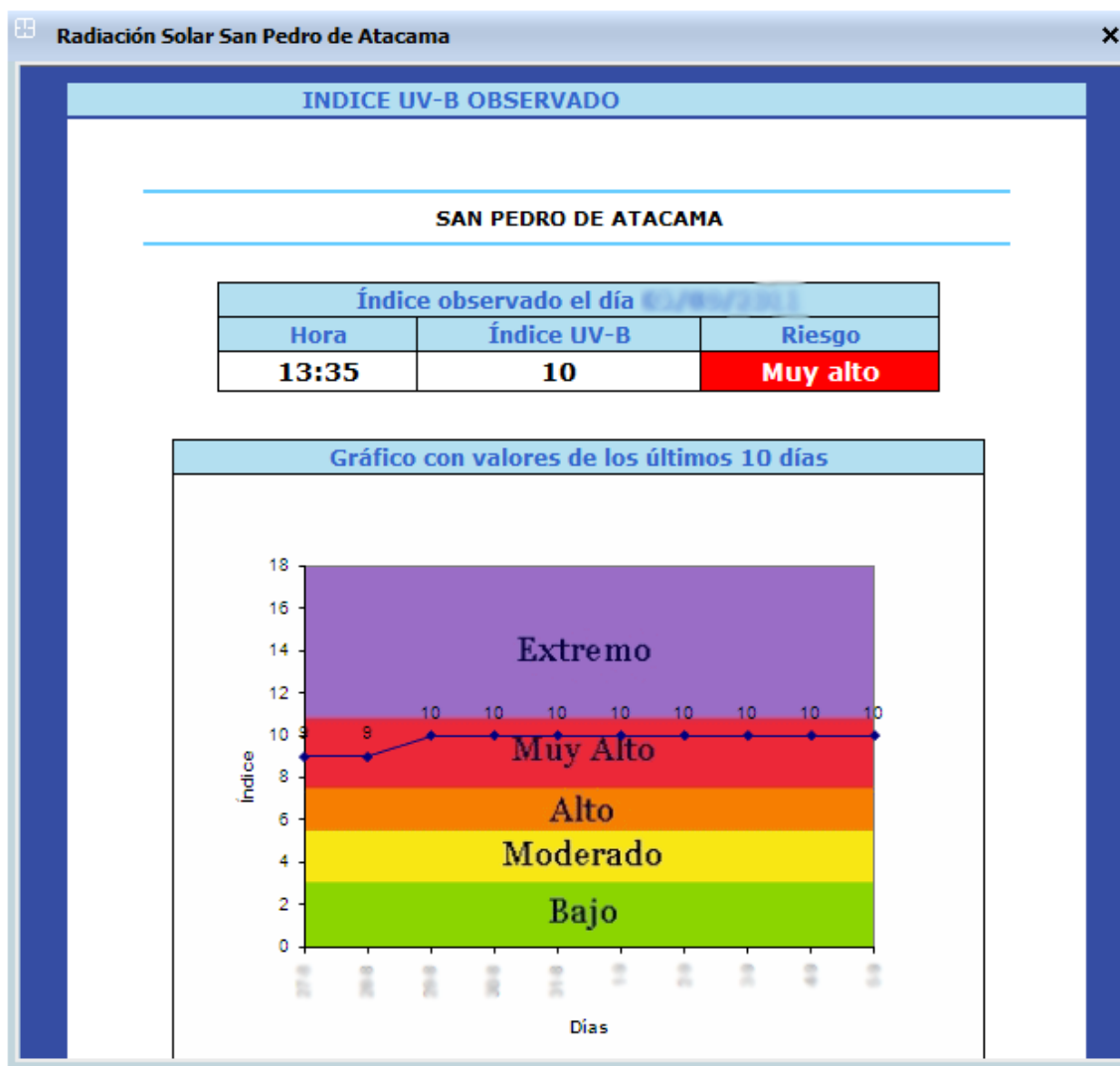


Figura 4.14: Interfaz Web - Ventana Visualización Radiación Solar en San Pedro de Atacama - Captura de Pantalla

⁵la radiación solar del tipo UVB es la luz de origen solar de longitud de onda media que cubre el rango de 280 a 315 nm. Aproximadamente el 10% de esta radiación ultravioleta llega a la superficie terrestre y afecta directamente a la capa externa de la piel, la epidermis [55] [56].

En la figura 4.14 se puede observar el uso de colores para representar el riesgo asociado a la radiación solar:

- Riesgo Bajo, color verde.
- Riesgo Moderado, color amarillo.
- Riesgo Alto, color anaranjado.
- Riesgo Muy Alto, color rojo.
- Riesgo Extremo, color violeta.

La navegación para acceder a *Radiación Solar San Pedro de Atacama* es:

- Usar el acceso directo *Radiación Solar San Pedro de Atacama* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Operación → Radiación Solar San Pedro de Atacama (ver figura 4.7).

Menú Configuración

El Menú de Configuración ofrece al usuario el acceso a las diferentes opciones de configuración del sistema y sus componentes de infraestructura, de umbrales de monitoreo y de seguridad, ver figura 4.15. Dependiendo del perfil del usuario, estas funcionalidades son:

- Cliente
- Proyecto Minero
- Estaciones
- Niveles de Monitoreo
- Seguridad
 - Perfiles
 - Usuarios



Figura 4.15: Interfaz Web - Menú de Configuración por Perfil de Acceso - Captura de Pantalla

A continuación se presenta una descripción de cada uno de estas funcionalidades, independiente de los accesos otorgados a cada perfil de usuario.

Cliente

Ventana emergente que permite la visualización y edición de los datos de un Cliente, esta funcionalidad fue diseñada pensando en la expansión del sistema a otros operadores de yacimientos.

Permite buscar en el listado de todos los clientes, eliminar un cliente seleccionado y editar algún dato específico de alguno de ellos. Los datos almacenados, editables y desplegados son: el id único del cliente al interior del sistema, la razón social y el nombre de fantasía (ver figura 4.16).

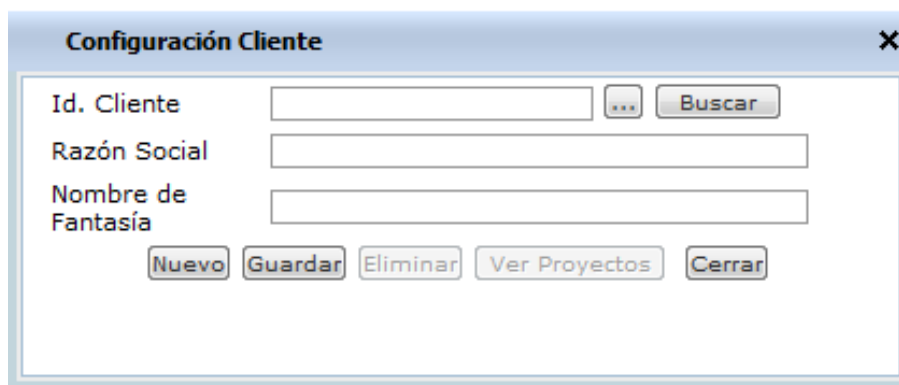


Figura 4.16: Interfaz Web - Ventana Configuración de Usuarios - Captura de Pantalla

Si el usuario cuenta con los privilegios necesarios, se les desplegará el botón *Nuevo*, el que permite agregar un nuevo cliente al sistema, para esto, deberá utilizar esta misma interfaz como un formulario donde deberá especificar los datos solicitados.

La navegación para acceder a *Cliente* es:

- Usar el acceso directo *Cliente* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Configuración → Cliente (ver figura 4.15).

Proyecto Minero

Ventana emergente que permite la visualización y edición de los datos de un Proyecto Minero (o un yacimiento), esta funcionalidad fue diseñada pensando en la expansión del sistema a otros yacimientos de nuestro cliente y entendiendo que un cliente puede poseer más de una operación minera.

Permite desplegar, modificar y eliminar los datos de un yacimiento, para ello entrega la capacidad de seleccionar un cliente para luego elegir el yacimiento a configurar. Los datos almacenados, editables y desplegados son: nombre del cliente operador del proyecto, identificador interno único del proyecto, nombre del proyecto, ubicación georeferencial y el polígono de ubicación (ver figura 4.17).



La imagen muestra una ventana de configuración con el título "Configuración Proyecto Minero". El formulario contiene los siguientes elementos:

- Cliente:** Un menú desplegable con el texto "Seleccionar...".
- Id. Proyecto:** Un campo de texto con un botón de selección "...".
- Buscar:** Un botón de acción.
- Nombre Proyecto:** Un campo de texto.
- Dirección:** Un campo de texto.
- Latitud:** Un campo de texto.
- Longitud:** Un campo de texto.
- Altitud:** Un campo de texto.
- Polígono:** Un área grande para el dibujo del polígono con una barra de desplazamiento.

En la parte inferior de la ventana hay una barra de botones con los siguientes controles:

- Nuevo:** Botón para crear un nuevo proyecto.
- Guardar:** Botón para guardar los cambios.
- Eliminar:** Botón para eliminar el proyecto.
- Ver Estaciones:** Botón para ver las estaciones asociadas.
- Cerrar:** Botón para cerrar la ventana.

Figura 4.17: Interfaz Web - Ventana Configuración de Proyecto Minero - Captura de Pantalla

Si el usuario cuenta con los privilegios necesarios, se les desplegará el botón *Nuevo*, el que permite agregar un nuevo proyecto y asociarlo al cliente seleccionado, para esto, deberá utilizar esta misma interfaz como un formulario donde deberá especificar los datos solicitados.

La navegación para acceder a *Proyecto Minero* es:

- Usar el acceso directo *Proyecto Minero* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Configuración → Proyecto Minero (ver figura 4.15).

Estaciones

La funcionalidad de Estaciones comprende las siguientes capacidades:

- Administrar las estaciones de monitoreo como entidades del sistema.
- Administrar los sensores asociados a cada estación de monitoreo.
- Administrar los perfiles para administrar cada estación en forma separada.

La figura 4.18 muestra la interfaz para la administración de los datos de una estación de monitoreo: cliente, proyecto, identificador único interno de la estación, nombre de la estación, su ubicación georeferencial y el estado (activa o inactiva).

id	Nombre	Estado	Res. Temporal	Ficha Tecnica	Max. Inactividad
1	...	A	...	...	...
2	...	A	...	...	...
3	...	A	...	...	...
4	Temperatura	A	...	...	...
5	Presión atm.	A	...	...	...
6	...	A	...	...	...
7	...	A	...	...	...

Figura 4.18: Interfaz Web - Ventana Configuración de Estaciones - Captura de Pantalla

Si el usuario cuenta con los privilegios necesarios, se les desplegará el botón *Nuevo*, el que permite agregar una nueva estación de monitoreo y asociarlo al cliente y proyecto minero seleccionado, para esto, deberá utilizar esta misma interfaz como un formulario donde deberá especificar los datos solicitados.

Una vez seleccionada una estación de monitoreo, se mostrarán, en la pestaña *Sensores*, el listado de los sensores asociados, los que podrá administrar en forma individual. Los datos asociados a cada sensor son:

- Identificador numérico del sensor.
- Nombre del sensor.
- Estado (on / off).
- Resolución Temporal.
- Enlace a la Ficha Técnica del sensor.
- Umbral de Máxima Inactividad (orientado a las alarmas de operación).

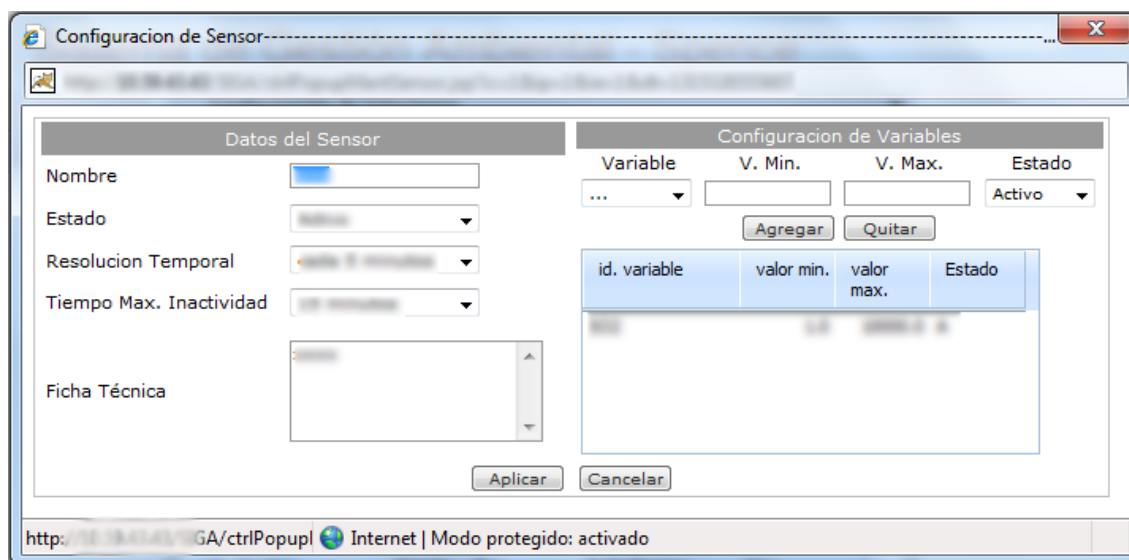


Figura 4.19: Interfaz Web - Ventana Configuración de Sensor por Estación - Captura de Pantalla

Si el usuario cuenta con los privilegios necesarios, se les desplegará el botón *Agregar*, el que permite agregar un nuevo sensor a la estación del monitoreo, para esto, se desplegará una nueva ventana *Configuración de Sensor* con un formulario donde deberá especificar los datos antes solicitados, además de aquellos relacionados con las variables que el sensor captura (ver figura 4.19).

También, la funcionalidad de Configuración de Estaciones permite modificar los permisos para los perfiles que podrán acceder a los datos de cada estación. En la figura 4.20 podemos observar en la parte inferior la pestaña *Perfiles*, la que permite asociar o desasociar un perfil específico para una estación específica.

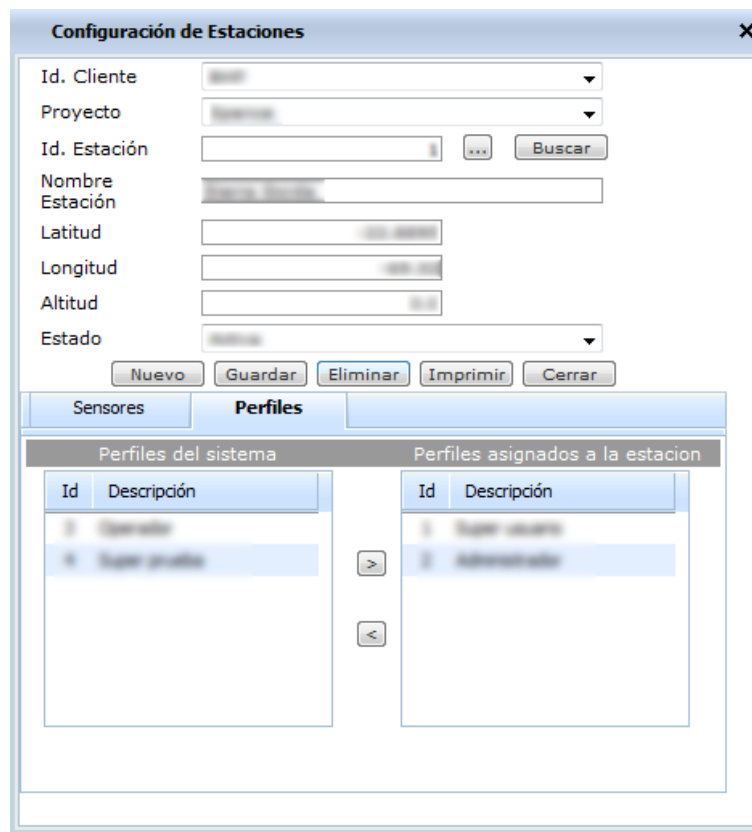


Figura 4.20: Interfaz Web - Ventana Configuración de Perfiles por Estación - Captura de Pantalla

La navegación para acceder a *Configuración de Estaciones* es:

- Usar el acceso directo *Configuración de Estaciones* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Configuración → Estaciones (ver figura 4.15).

Niveles de Monitoreo

La funcionalidad Niveles de Monitoreo es la herramienta que permite registrar, tal como lo dice su nombre, los niveles de monitoreo asociados a una variable ambiental y así definir, por estación, mes y hora, los umbrales para determinar los estados de condición adversa y de alerta. Por ejemplo, va a ser posible definir para todo un mes, a una hora específica de un año determinado cuáles serán los niveles esperados para una variable ambiental.

Mes	Horas																								
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Enero	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Febrero	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Marzo	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Abril	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Mayo	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Junio	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Julio	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Agosto	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Septiembre	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Octubre	Nivel 1																								
	Nivel 2																								
Noviembre	Nivel 1																								
	Nivel 2																								

Figura 4.21: Interfaz Web - Ventana Configuración de Niveles de Monitoreo (Estación - Sensor - Año - Mes - Hora) - Captura de Pantalla

En la figura 4.21 se puede observar la capacidad de seleccionar, desde una lista desplegable, la estación, el sensor y el año para registrar los niveles. Una grilla con todos los meses y la hora del día permite detallar uno a uno esos umbrales.

La navegación para acceder a *Configuración de Niveles de Monitoreo* es:

- Usar el acceso directo *Configuración de Niveles de Monitoreo* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Configuración → Niveles de Monitoreo (ver figura 4.15).

Seguridad

En el ámbito de la configuración de la seguridad de acceso al sistema, se entrega la capacidad de administrar los perfiles del sistema y sus privilegios de acceso, así como la administración de los usuarios que operarán el sistema siguiendo esos privilegios definidos.

Seguridad: Perfiles

La funcionalidad Configuración de Perfiles de Seguridad es la que entrega la capacidad de:

- Crear nuevos perfiles para el sistema.
- Editar los datos de los perfiles existentes.
- Eliminar un perfil.
- Listar los usuarios que pertenezcan a un perfil específico.

Funcionalidades del sistema				Funcionalidades asignadas al Perfil			
Id. Func.	Desc. Funcionalidad	Id. Acción	Desc. Acción	Id. Func.	Desc. Funcionalidad	Id. Acción	Desc. Acción

Figura 4.22: Interfaz Web - Ventana Configuración de Perfiles de Acceso - Captura de Pantalla

La figura 4.22 muestra el formulario para realizar estas tareas.

La navegación para acceder a *Configuración de Perfiles de Seguridad* es:

- Usar el acceso directo *Configuración de Perfiles de Seguridad* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Configuración → Seguridad → Perfiles de Seguridad (ver figura 4.15).

Seguridad: Usuarios

La funcionalidad Configuración de Usuarios permite administrar los usuarios del sistema y asociarlos a los diferentes perfiles ya definidos, los que estarán restringidos por cliente y proyecto.

La figura 4.23 muestra la ventana emergente que contiene el formulario para la administración de los usuarios. Los datos asociados directamente a cada usuario son: su login de usuario, su identificación completa (nombres y apellidos), la fecha de creación (la que puede ser distinta al momento del llenado de este formulario), su correo electrónico, su estado (Activo / Inactivo) y los perfiles asociables.



Configuración de Usuarios

Login

Nombres

Ap. Paterno

Ap. Materno

Fecha creación

Correo Electrónico

Estado

Perfiles asignados al Usuario

Cliente

Proyecto

Perfil

Id. cliente	Cliente	Id. proyecto	Nombre Proyecto	Id. Perfil	Nombre Perfil
-------------	---------	--------------	-----------------	------------	---------------

Figura 4.23: Interfaz Web - Ventana Configuración de Usuarios - Captura de Pantalla

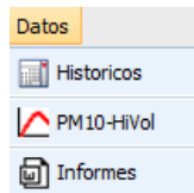
La navegación para acceder a *Configuración de Usuarios* es:

- Usar el acceso directo *Configuración de Usuarios* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Configuración → Seguridad → Usuarios (ver figura 4.15).

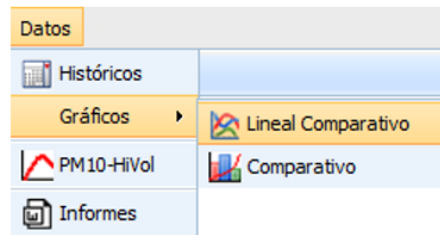
Menú Datos

El Menú de Datos es el que permite el acceso a las funcionalidades de consulta y visualización gráfica de los datos almacenados en el sistema, ver figura 4.24. Dependiendo del perfil del usuario, estas funcionalidades son:

- Consulta de Datos Históricos
- Visualización Gráfica de Datos
- Ingreso de Datos PM10-HiVol
- Descarga de Informes



Menú de Datos
Administrador



Menú de Datos
Superusuario

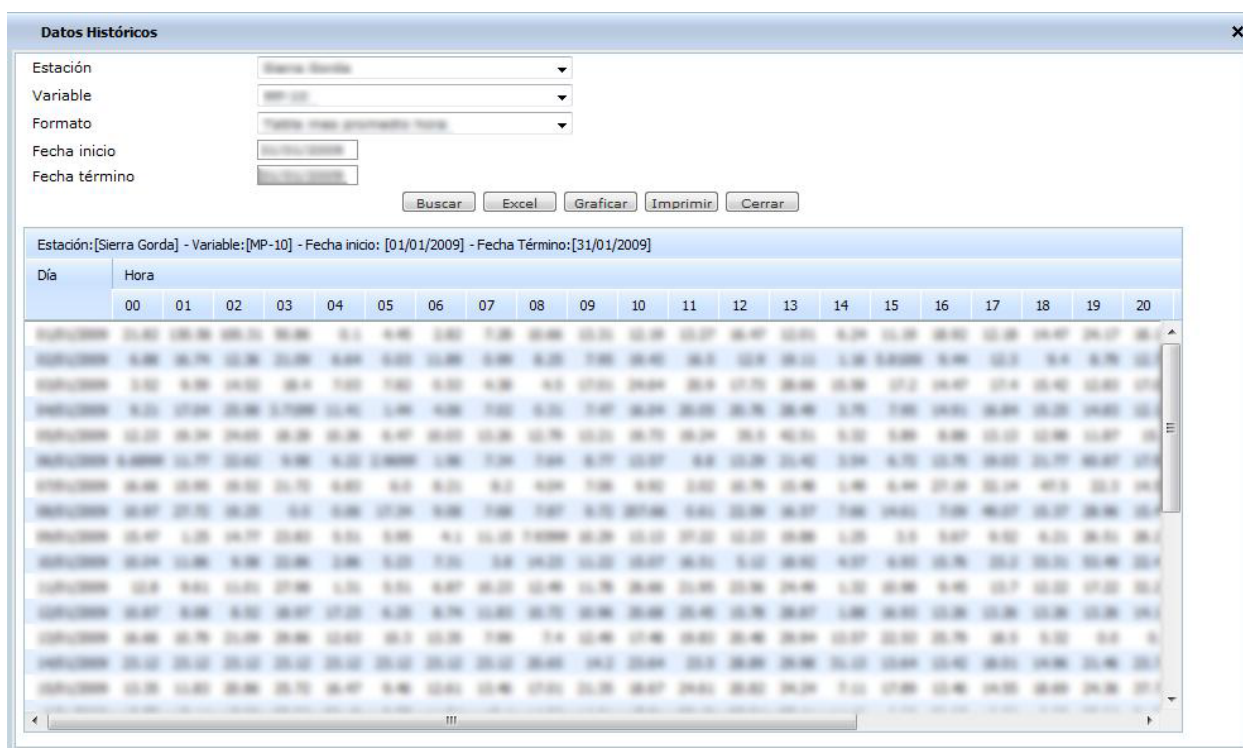
Figura 4.24: Interfaz Web - Menú de Datos por Perfil de Acceso - Captura de Pantalla

Nota: En la definición inicial de perfiles, los operadores no tienen acceso a estas funcionalidades, esto, por el carácter de sus funciones, más relacionadas con la operación y correcto funcionamiento de los equipos y no con el impacto ambiental.

Históricos

La funcionalidad de Consulta de Datos Históricos es la que permite al usuario, mediante filtros de búsqueda, generar consultas para visualizar en forma cruda los datos registrados en el sistema. Tal como se observa en la figura 4.25, los filtros para estas consultas son:

- Estación de Monitoreo.
- Variable ambiental o de Impacto.
- Formato de despliegue (todos los datos registrados, promedios).
- Rango de Fechas.



The screenshot shows a web application window titled "Datos Históricos". It contains a search form with the following fields: "Estación" (Sierra Gorda), "Variable" (PM10), "Formato" (Tabla para promedio hora), "Fecha inicio" (01/01/2009), and "Fecha término" (31/01/2009). Below the form are buttons for "Buscar", "Excel", "Graficar", "Imprimir", and "Cerrar". The main content area displays a table with the following structure:

Día	Hora																							
	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
01/01/2009	21.82	20.76	20.51	20.86	9.1	9.46	2.82	7.28	20.86	22.51	22.28	22.27	20.47	22.51	9.29	11.28	20.92	22.28	20.47	20.27	20.1	20.1		
02/01/2009	9.88	20.74	22.28	21.28	9.44	9.22	22.28	9.28	9.22	7.88	20.42	20.2	22.4	20.22	1.28	2.82288	9.44	22.2	9.4	9.76	22.2	21.4		
03/01/2009	9.22	9.28	20.52	20.4	7.22	7.22	9.22	9.28	9.2	17.52	20.44	20.9	21.72	20.88	20.28	21.2	20.47	21.4	20.42	22.82	21.4			
04/01/2009	9.22	21.24	20.88	2.7288	22.42	1.44	9.28	7.22	9.22	7.47	20.24	20.22	20.76	20.48	2.76	7.88	20.42	20.44	20.22	20.82	22.2			
05/01/2009	22.22	20.24	20.42	20.28	20.28	20.47	20.22	22.28	22.76	22.22	20.72	20.24	20.2	20.2	9.22	9.28	9.28	22.22	22.28	22.27	22.2			
06/01/2009	9.28888	22.77	22.22	9.46	9.22	2.88888	1.28	7.24	7.44	9.77	22.27	9.2	22.28	21.42	2.24	9.72	22.76	20.22	22.77	20.27	21.4			
07/01/2009	20.48	20.28	20.22	21.72	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	9.22	2.22	20.76	22.48	1.48	9.44	21.28	22.24	22.2	22.2	22.2	20.4			
08/01/2009	20.27	21.72	20.22	9.2	9.28	21.24	9.28	7.88	7.27	9.72	20.748	9.22	22.28	20.27	7.88	20.42	7.88	20.27	20.27	20.28	22.2			
09/01/2009	22.47	1.28	20.77	22.82	9.22	9.28	9.2	22.28	2.8888	20.28	22.22	21.22	22.22	20.88	1.28	2.2	2.27	9.22	9.22	20.22	20.2			
10/01/2009	20.24	21.28	9.28	22.28	2.88	9.22	7.22	2.8	20.22	22.22	20.27	20.22	9.22	20.22	9.27	9.28	20.76	22.2	20.22	20.48	22.4			
11/01/2009	22.8	9.22	22.22	21.88	1.22	9.22	9.27	20.22	22.48	22.76	20.48	21.28	22.28	20.48	1.22	20.28	9.46	22.7	22.22	21.22	22.2			
12/01/2009	20.27	9.28	9.22	20.27	21.22	9.22	9.74	22.22	20.76	20.48	20.48	20.48	20.48	20.48	2.28	20.22	22.28	22.28	22.28	22.28	20.4			
13/01/2009	20.48	20.76	21.28	20.48	22.42	20.2	22.28	7.88	7.4	22.48	21.48	20.22	20.48	20.44	22.27	22.22	20.76	20.2	9.22	9.2	9.2			
14/01/2009	22.22	22.22	22.22	22.22	22.22	22.22	22.22	20.48	20.2	20.44	22.2	20.28	20.48	20.48	22.22	22.44	22.42	20.22	20.48	21.48	22.2			
15/01/2009	22.28	21.22	20.88	22.72	20.47	9.46	22.42	22.48	21.52	22.28	20.27	20.42	20.22	20.24	7.12	21.88	22.48	20.22	20.48	20.48	20.28			

Figura 4.25: Interfaz Web - Ventana de Visualización de Datos Históricos - Captura de Pantalla

Una vez desplegados los datos, estos pueden ser:

- Exportados como planillas de datos (Excel).
- Desplegados gráficamente.
- Exportados como PDF para su impresión.

La figura 4.25 muestra un ejemplo de despliegue del promedio horario de los datos de la variable PM10 de una estación específica.

La navegación para acceder a *Datos Históricos* es:

- Usar el acceso directo *Datos Históricos* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Datos → Históricos (ver figura 4.24).

Gráficos

El menú de funcionalidades gráficas es el que permite elegir el tipo de gráfico que se utilizará para desplegar datos seleccionados. Están los gráficos para comparar la misma variable entre estaciones de monitoreo (*Gráficos de Tipo Lineal Comparativo*) y aquellos que permiten comparar distintas variables de la misma o distintas estaciones (*Gráficos de Tipo Comparativo*), especialmente utilizados para encontrar de manera sencilla las correlaciones directas entre variables.

Gráficos: Lineal Comparativo

Es la funcionalidad para desplegar un gráfico de líneas para comparar la misma variable entre 2 o más estaciones, entrega filtros sencillos para generar las consultas: Nombre de la variable a comparar, la frecuencia de muestreo, el rango de fechas y las estaciones de monitoreo.

La figura 4.26 muestra un ejemplo de gráfico lineal comparativo para la variable PM10 por hora para 2 estaciones de monitoreo.

Una vez desplegados los datos, los gráficos pueden ser exportados como PDF para su impresión física.

La navegación para acceder a *Gráfico Lineal Comparativo* es:

- Usar el acceso directo *Gráfico Lineal Comparativo* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Datos → Gráficos → Lineal Comparativo (ver figura 4.24).

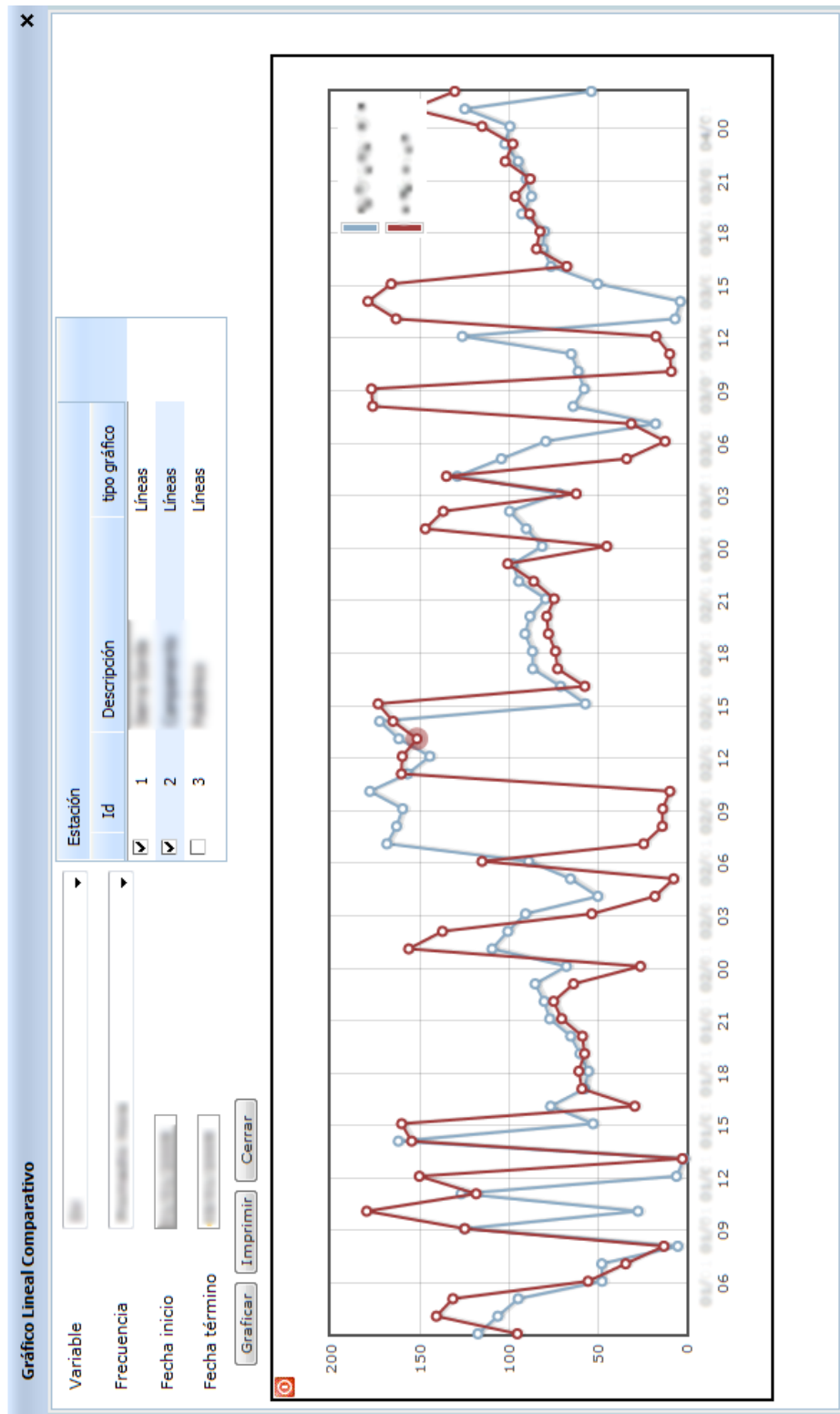


Figura 4.26: Interfaz Web - Ventana de Visualización de Gráfico Lineal Comparativo - Captura de Pantalla

Gráficos: Comparativo

Es la funcionalidad para desplegar un gráfico con distintos tipos de representación de datos para comparar 2 variables distintas para una estación específica o entre 2 estaciones diferentes, entrega filtros sencillos para generar las consultas: Nombre de ambas estaciones, nombre de ambas variables a comparar, el tipo de gráfico para cada variable (líneas / Barras), la frecuencia y el rango de fechas.

La figura 4.27 muestra un ejemplo de gráfico comparativo para 2 variables y 2 tipos de gráficos.

Una vez desplegados los datos, los gráficos pueden ser exportados como PDF para su impresión física.

La navegación para acceder a *Gráfico Comparativo* es:

- Usar el acceso directo *Gráfico Comparativo* del Menú Principal (ver figura 4.6).
- A través de: Menú de Datos → Gráficos → Comparativo (ver figura 4.24).

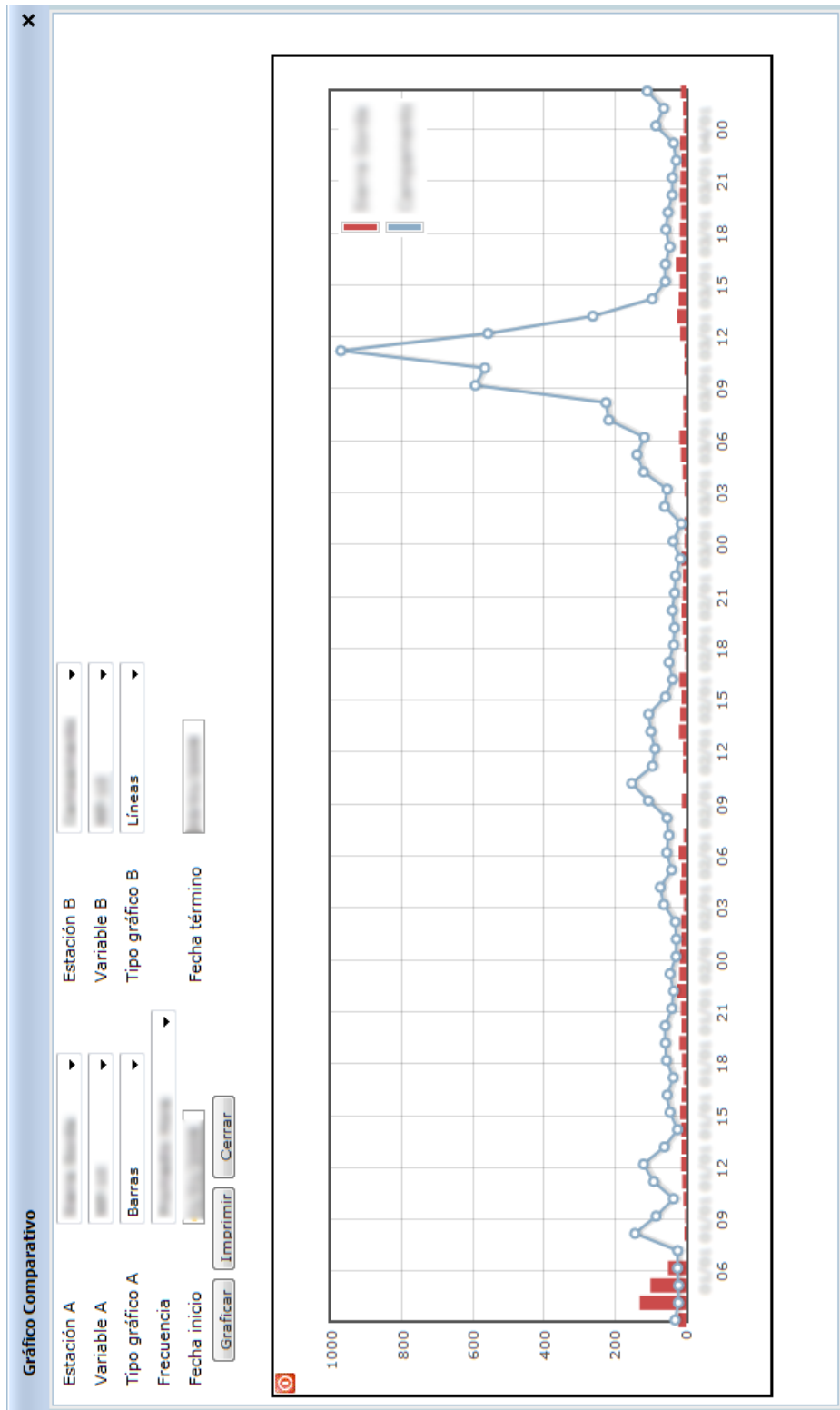


Figura 4.27: Interfaz Web - Ventana de Visualización de Gráfico Comparativo - Captura de Pantalla

Menú Ayuda

El menú de ayuda ofrece una búsqueda de tópicos predefinidos mediante un formulario de ingreso simple y un conjunto de documentos para la utilización del sistema de gestión ambiental (ver figura 4.28).

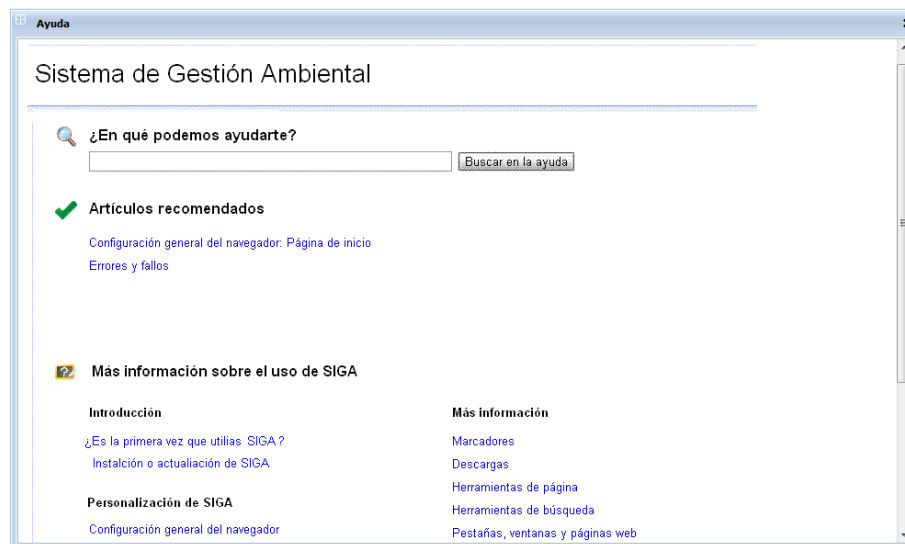


Figura 4.28: Interfaz Web - Ventana de Ayuda con Formulario de Búsqueda - Captura de Pantalla

4.3. Validación

El sistema se validó mediante los 3 puntos antes propuestos:

1. Instalación del sistema y paso a producción: Requerimientos técnicos para la instalación de aplicativos externos.
2. Calidad de Datos: Criterios de evaluación y sus dimensiones.
3. Satisfacción de los clientes.

4.3.1. Instalación del sistema y paso a producción

Para la etapa posterior al desarrollo del sistema de gestión ambiental se consideran las siguientes etapas:

- Marcha Blanca.
- Revisión de la documentación.
- Pruebas y revisión del software.
- Implantación.
- Operación.

Marcha Blanca

La marcha blanca es el periodo de tiempo en que el sistema funciona con datos reales pero aún no se encuentra liberado para los usuarios, en el caso de este trabajo, el servidor de desarrollo es el que soporta esta marcha blanca. Este periodo de tiempo es utilizado para poner a prueba el sistema en su funcionamiento general como un todo y evaluar su rendimiento en condiciones controladas para detectar posibles problemas que no se identificaron durante las pruebas específicas.

Revisión de la documentación

La revisión y validación de la documentación técnica requerida la realiza, en forma interna, la empresa IBM y consiste en una revisión exhaustiva de todos los documentos requeridos a lo largo del desarrollo de este trabajo, su objetivo es garantizar que este desarrollo respete los lineamientos de seguridad informática al interior de la empresa.

El listado de documentos solicitados es:

- Propuesta Original del Servicio/Producto/Proyecto.
- Manual del Sistema, debe incluir:
 - Diagrama de Arquitectura.
 - Modelo de Datos.
 - Flujo de Navegación.
 - Esquema de Seguridad.
 - Esquema de Respaldo.
- Descripción de Transacciones.
- Manual(es) de Usuario(s), por perfil.
- Casos de Uso, por funcionalidad específica.
- Casos de Pruebas, por funcionalidad general.

Mediante entregas parciales, fueron entregados los siguientes documentos:

- Propuesta Técnica Y Económica “Servicio de Monitoreo Meteorológico y de Calidad del Aire (26 páginas). Ver Anexo 5.
- Manual del Sistema (66 páginas). Ver Anexo 5.
- Descripción de Transacciones, (16 páginas)
- Manual de Usuario – Administrador (30 páginas)
- Manual de Usuario – Operador (17 páginas)
- Manual de Usuario – Súper Usuario (39 páginas). Ver Anexo 5
- 48 documentos de Casos de Uso.
- 13 documentos de Casos de Pruebas.

Los documentos fueron aprobados y validados en su totalidad, dando por superado uno de los requerimientos fundamentales de este proyecto, cumplir con la documentación técnica exigida para la implantación de un nuevo aplicativo al interior de la infraestructura informática de la minera.

Pruebas y revisión del software

Esta etapa de pruebas la realiza internamente IBM, para ello solicitó:

Copia de la imagen del disco duro del servidor de desarrollo para realizar procesos de verificación en forma interna.

Acceso, vía internet y ddns, al servidor de desarrollo. A pesar de no estar contemplado en un principio, se llevaron a cabo pruebas del sistema en el servidor de desarrollo. Este cambio no afecta el cronograma del proyecto, simplemente cambió la modalidad de las pruebas.

Implantación y Operación

Debido a una serie de contingencias que afectaron la entrega a tiempo del servidor de producción, la fase de implantación se vio postergada.

Por esta razón, el periodo de marcha blanca se extendió, en un principio, por un plazo de 3 meses renovables hasta la llegada física del nuevo servidor de producción.

Nota: Finalmente el servidor de desarrollo fue trasladado físicamente a los data center de minera Spence, dando por concluida y aprobadas ambas fases del proyecto.

4.3.2. Calidad de datos y sus dimensiones

Entendemos que un dato es de calidad cuando es idóneo para su uso [57] y, junto a otros datos, presenta una capacidad de procesamiento sencilla, siempre orientados al propósito con el cual fueron creados y/o capturados [58]. Al no ser productos tangibles, la evaluación de calidad es una función de una serie de dimensiones intangibles [59], en nuestro caso, se identificaron las siguientes dimensiones: unicidad, completitud, integridad y disponibilidad.

Métricas para medir la calidad de los datos

Unicidad⁶

En esta dimensión el objetivo es garantizar que no exista duplicidad de valores en el conjunto de datos. Gracias a una correcta definición de las llaves primarias de la base datos, este atributo de calidad de datos se cumple en un 100 %.

Por ende, las métricas asociada a la unicidad de los datos queda definida y evaluada en la tabla 4.6.

Criterio	Métrica	Valor Esperado	Valor Medido
Unicidad de los datos	% de datos duplicados	0 %	0 %

Tabla 4.6: Métrica(s) de éxito asociadas a la unicidad de los datos

Completitud⁷

La completitud depende directamente de la definición de los requerimientos de datos para que un sistema cumpla su propósito. Está dada por la razón entre el volumen de datos recibidos y los esperados, en otras palabras, la cantidad de datos usables frente a los necesarios.

En nuestro caso, la solicitud de la autoridad competente obliga a la minera a presentar el análisis de los datos con muestreo las 24 horas del día.

⁶Las restricciones de unicidad garantizan que los valores de un conjunto de columnas sean exclusivos y no nulos para todas las filas de la tabla. [60]

⁷Representa la cantidad de datos que son utilizables o completos. Si hay un alto porcentaje de valores faltantes, puede dar lugar a un análisis sesgado [60]

Las métricas de completitud están dadas en la tabla 4.7.

Criterio	Métrica	Valor Esperado	Valor Medido
Completitud de los datos	# datos disponibles / # datos esperados	100 %	100 %

Tabla 4.7: Métrica(s) de éxito asociadas a la completitud de los datos

Integridad⁸

Fundamental en la confiabilidad de las bases de datos, la integridad hace referencia a la relación entre las entidades dentro del conjunto de datos, específicamente, en bases de datos relacionales, como la nuestra, el objetivo que las llaves externas coincidan con las llaves primarias de las entidades superiores. Esto se logra mediante el uso de restricciones y reglas en la definición de las tablas del modelo entidad relación.

LLevado a nuestro caso, implica que todos los datos capturados tengan un grado de trazabilidad total, desde su origen hasta su almacenamiento.

Las métricas de integridad están dadas en la tabla 4.8.

Criterio	Métrica	Valor Esperado	Valor Medido
Integridad de los datos	% datos asociables a una estación de monitoreo con fecha y hora	100 %	100 %

Tabla 4.8: Métrica(s) de éxito asociadas a la integridad de los datos

⁸La integridad de los datos garantiza que todos los datos empresariales puedan ser trazables y asociables [61].

Disponibilidad⁹

Para el caso del sistema de monitoreo y, en acuerdo con el cliente, la disponibilidad tendrá relación con el nivel de accesibilidad a los datos, esto, sin la definición de un momento o lugar específico para ello.

Será evaluado en 4 diferentes ámbitos: disponibilidad de la infraestructura y sus servicios asociados, la existencia de mecanismos de respaldo y recuperación de datos, el nivel de escalabilidad del sistema, ya sea por el crecimiento en la cantidad de usuarios o por el crecimiento de las entidades de generación de la información y, finalmente pero no acotada solo a esta lista, la seguridad en su acceso.

En la tabla 4.9 se listan las métricas definidas para medir el nivel de disponibilidad de los datos del sistema de monitoreo, para el caso de la disponibilidad de servicios y la existencia de respaldos.

En el caso de la escalabilidad, la elección del motor de base datos y la definición del modelo entidad relación garantizan un nivel de escalabilidad para este sistema; la cantidad de usuarios se mantendrá acotada a las áreas involucradas y, por ahora, la cantidad de estaciones de monitoreo no será modificada.

Respecto a la seguridad, se realizaron test sencillos de accesos no autorizados al sistema y a funcionalidades, todos ellos fueron sorteados satisfactoriamente.

Criterio	Métrica	Valor Esperado	Valor Medido
Disponibilidad de los datos	Tiempo de actividad (uptime) de los servicios (servidores) del sistema de monitoreo.	95 %	97 %
	Existencia y pruebas de mecanismos de respaldo y recuperación de datos.	Pruebas realizadas con éxito	Pruebas realizadas con éxito

Tabla 4.9: Métrica(s) de éxito asociadas a la disponibilidad de los datos

⁹término utilizado por los fabricantes de almacenamiento informático y los proveedores de servicios de almacenamiento para describir cómo los datos deben estar disponibles en un nivel requerido de rendimiento [62].

4.3.3. Evaluación del cliente

Para obtener una evaluación por parte del cliente se planteó la aplicación de un método rápido de evaluación basado en el cuestionario SUS, pero aplicado sólo al principal usuario (y cliente) de este desarrollo, el Superintendente de HSEC, el que cuenta inicialmente con un perfil con acceso a todas las funcionalidades.

Con esto solo obtendremos una apreciación de la usabilidad del sistema y no un resultado concluyente, principalmente debido a la escasez de entrevistados. Una evaluación rigurosa y final requiere, por un lado, aumentar considerablemente la cantidad de usuarios a entrevistar o, simplemente, la aplicación de otra metodología.

Para este caso, la escala Likert utilizada fue:

- Totalmente en desacuerdo → 1 punto
- En desacuerdo → 2 puntos
- Neutro → 3 puntos
- De acuerdo → 4 puntos
- Totalmente de acuerdo → 5 puntos

El puntaje obtenido en la aplicación del cuestionario SUS fue de 82,5 puntos, dando una apreciación más que aceptable para la usabilidad del sistema. La tabla 4.10 muestra el detalle de la aplicación del cuestionario incluyendo las respuestas del usuario encuestado, las escalas y los puntajes obtenidos.

#	Pregunta	Totalmente en desacuerdo	En desacuerdo	Neutro	De acuerdo	Totalmente de acuerdo	Escala del Usuario	Puntaje Obtenido
1	Creo que me gustaría utilizar este sistema con frecuencia.					X	5	4
2	Encontré el sistema innecesariamente complejo.	X					1	4
3	Pensé que el sistema era fácil de usar.			X			3	2
4	Creo que necesitaría el apoyo de un técnico para poder utilizar este sistema.		X				2	3
5	Encontré que las diversas funciones de este sistema estaban bien integradas.					X	5	4
6	Pensé que había demasiada inconsistencia en este sistema.	X					1	4
7	Me imagino que la mayoría de la gente aprendería a utilizar este sistema muy rápidamente.			X			3	2
8	Encontré el sistema muy complicado de usar.	X					1	4
9	Me sentí muy seguro usando el sistema.			X			3	2
10	Necesitaba aprender muchas cosas antes de empezar con este sistema.	X					1	4

Tabla 4.10: Resultado aplicación cuestionario SUS

Capítulo 5

Conclusiones

Nuestro cliente, minera Spence, del grupo BHP presentó su problema en un contexto de regulaciones ambientales, regulaciones informáticas internas y de relación con la comunidad, necesitaba mejorar la calidad de la información para atender estas obligaciones y contaba con un conjunto de sistemas externos que no estaban entregando los resultados esperados.

Se abordó esta situación comenzando con la evaluación de las herramientas existentes para rescatar aquellas funcionalidades con mayor valor y realizando el levantamiento de todas las funcionalidades y requerimientos actuales mediante sesiones periódicas de trabajo.

Con este material se entregó una propuesta de desarrollo la que fue validada por el área usuaria del sistema.

El desarrollo se llevó en paralelo con la confección de la documentación solicitada, el sistema fue visado para su instalación, dando comienzo a la marcha blanca del sistema, periodo utilizado para evaluar el sistema en los tres aspectos definidos desde un inicio: aspectos técnicos-informáticos de políticas internas, calidad de datos y usabilidad de las interfaces desarrolladas. Pasando posteriormente a la fase final del operación.

Todos los objetivos planteados inicialmente fueron alcanzados en su totalidad. El sistema cuenta con interfaces con alto nivel de usabilidad, una arquitectura de datos segura, un conjunto de subsistemas de comunicación e información que conforman la médula del sistema general y el cumplimiento de los estándares técnicos de instalación de aplicativos externos.

Respecto a los resultados obtenidos, estos están dentro de lo esperado. La calidad de los datos en los aspectos definidos arrojó una evaluación dentro de los umbrales especificados: unicidad con un 100 % de cumplimiento, completitud con un 100 % de cumplimiento, integridad con un 100 % de cumplimiento y disponibilidad con 97 % medido sobre un 95 %

esperado.

Se obtuvo la validación técnica del sistema por parte de los encargados de la seguridad informática del cliente, el sistema sorteó los requerimientos impuestos incluyendo la entrega de la totalidad de la documentación solicitada.

Respecto a la evaluación por parte del cliente, se obtuvo una buena apreciación de la usabilidad del sistema por parte del principal usuario, esto mediante un sistema rápido, pero no concluyente, de evaluación.

Si bien el paso a la fase final de operación del sistema no se ajustó a lo planificado, de todos modos cumplió con los objetivos finales del proyecto.

Finalmente podemos concluir que el Sistema de Información de Gestión Ambiental (SIGA) de Minera Spence es una herramienta que le permite responder satisfactoriamente a los estándares de la autoridad medioambiental, sus propias políticas y a las inquietudes de las comunidades. Permite adelantarse a episodios críticos, gracias al pronóstico incorporado como datos externos al sistema y tomar decisiones más informadas con herramientas comparativas.

Bibliografía

- [1] M. del Medio Ambiente; Gobierno de Chile, *Decreto 12 | Establece Norma Primaria De Calidad Ambiental Para Material Particulado Fino Respirable Mp 2,5*, 2011. dirección: <https://www.leychile.cl/n?i=1025202&f=2012-01-01>.
- [2] M. de Salud; Gobierno de Chile, *Normas Sanitarias Mínimas Destinadas a Prevenir Y Controlar La Contaminación Atmosférica*, 1978. dirección: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=1029027&f=1978-06-22&p=9175463>.
- [3] C. Nacional Del Medio Ambiente; Ministerio Secretaría General De La Presidencia; Gobierno de Chile, *Decreto 59 | Establece Norma De Calidad Primaria Para Material Particulado Respirable Mp10, En Especial De Los Valores Que Definen Situaciones De Emergencia*, 2001. dirección: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idnorma=99434>.
- [4] M. de Salud; Gobierno de Chile, *Decreto 594 | Aprueba Reglamento Sobre Condiciones Sanitarias Y Ambientales Básicas En Los Lugares De Trabajo*, 2019. dirección: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idnorma=167766>.
- [5] M. del Medio Ambiente; Gobierno de Chile, *Decreto 20 | Establece Norma De Calidad Primaria Para Material Particulado Respirable Mp10, En Especial De Los Valores Que Definen Situaciones De Emergencia*, 2013. dirección: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1057140>.
- [6] *Spence*, Consejo Minero, 2022. dirección: <https://consejominero.cl/nosotros/mapa-minero/spence/>.
- [7] *JQuery*, OpenJS Foundation, 2023. dirección: <https://jquery.com/>.
- [8] *JQuery*, Wikipedia, 2023. dirección: <https://es.wikipedia.org/w/index.php?title=jQuery&oldid=154257883>.
- [9] *JQuery Usage Statistics*, Builtwith® Pty Ltd, 2023. dirección: <https://trends.builtwith.com/javascript/jquery>.
- [10] *JQuery vs React | What are the differences?* Stackshare, 2023. dirección: <https://stackshare.io/stackups/jquery-vs-react>.

- [11] *Spring*, VMware Tanzu by Broadcom Inc. dirección: <https://spring.io/>.
- [12] *¿Qué es Java Spring Boot?* IBM. dirección: <https://www.ibm.com/mx-es/topics/java-spring-boot>.
- [13] V. Bhalodia, *Top 10 Most Popular Java Frameworks*, WeblinIndia, 2021. dirección: <https://www.weblinindia.com/blog/10-most-used-java-frameworks-2021/>.
- [14] *Spring Framework*, Wikipedia, 2023. dirección: https://es.wikipedia.org/wiki/Spring_Framework.
- [15] *Jakarta Server Pages 3.1 Specifications*, Eclipse Foundation, 2022. dirección: <https://jakarta.ee/specifications/pages/3.1/jakarta-server-pages-spec-3.1.pdf>.
- [16] *Jakarta Server Pages™*, Eclipse Foundation, 2022. dirección: <https://projects.eclipse.org/projects/ee4j.jsp>.
- [17] H. Bergsten, *Java Server Pages*. O'Reilly Media, Inc., 2000, ISBN: 9781565927469.
- [18] *JSP Tutorial*, JavaTpoint. dirección: <https://www.javatpoint.com/jsp-tutorial>.
- [19] *Apache Tomcat®*, Apache Software Foundation. dirección: <https://tomcat.apache.org/>.
- [20] *What is Tomcat?* JavaTpoint. dirección: <https://www.javatpoint.com/what-is-tomcat>.
- [21] *Apache Tomcat*, Wikipedia, 2023. dirección: https://en.wikipedia.org/wiki/Apache_Tomcat.
- [22] *2022 Java Developer Productivity Report*, JRebel by Perforce, 2022. dirección: <https://www.jrebel.com/resources/java-developer-productivity-report-2022>.
- [23] P. Fol, *Java Basics: What Is Apache Tomcat?* JRebel by Perforce, 2022. dirección: <https://www.jrebel.com/blog/what-is-apache-tomcat>.
- [24] *MVC*, MDN Web Docs, 2023. dirección: <https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Glossary/MVC>.
- [25] *Model-view-controller*, Wikipedia, 2023. dirección: <https://en.wikipedia.org/wiki/Model-view-controller>.
- [26] *Patrón MVC en Java con Netbeans*, Google Code Archive. dirección: <https://code.google.com/archive/p/gestion-matricula/wikis/MVC.wiki>.
- [27] *What is a Relational Database (RDBMS)?* Oracle, 2023. dirección: <https://www.oracle.com/database/what-is-a-relational-database/>.

- [28] *What is a Relational Database?* Microsoft, 2023. dirección: <https://azure.microsoft.com/en-us/resources/cloud-computing-dictionary/what-is-a-relational-database>.
- [29] *PostgreSQL: The World's Most Advanced Open Source Relational Database*, The PostgreSQL Global Development Group, 2023. dirección: <https://www.postgresql.org/>.
- [30] *What is PostgreSQL?* IBM. dirección: <https://www.ibm.com/topics/postgresql>.
- [31] *MySQL vs PostgreSQL*, Stackshare. dirección: <https://stackshare.io/stackups/mysql-vs-postgresql>.
- [32] *Oracle vs PostgreSQL*, Stackshare. dirección: <https://stackshare.io/stackups/oracle-vs-postgresql>.
- [33] J. Mifsud, *Usability Metrics – A Guide To Quantify The Usability Of Any System*, Usability Geek, 2018. dirección: <https://usabilitygeek.com/usability-metrics-a-guide-to-quantify-system-usability/> (visitado 2023).
- [34] J. Nielsen, «Usability Inspection Methods,» *Conference Companion on Human Factors in Computing Systems - CHI '94*, p. 413-414, 1994. DOI: [10.1145/259963.260531](https://doi.org/10.1145/259963.260531). dirección: <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/259963.260531> (visitado 2023).
- [35] J. Kirakowski y M. Corbett, «SUMI: the Software Usability Measurement Inventory,» *British Journal of Educational Technology*, vol. 24, n.º 3, págs. 210-212, sep. de 1993. DOI: [10.1111/j.1467-8535.1993.tb00076.x](https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.1993.tb00076.x).
- [36] R. H. Kulkarni, P. Padmanabham, V. Sagare y V. Maheshwari, «Usability evaluation of PS using SUMI (Software Usability Measurement Inventory),» *2013 International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI)*, págs. 1270-1273, 2013. DOI: [10.1109/ICACCI.2013.6637360](https://doi.org/10.1109/ICACCI.2013.6637360).
- [37] A. Lund, «Measuring Usability with the USE Questionnaire,» *Usability and User Experience Newsletter of the STC Usability SIG*, vol. 8, ene. de 2001.
- [38] M. Gao, P. Kortum y F. Oswald, «Psychometric Evaluation of the USE (Usefulness, Satisfaction, and Ease of use) Questionnaire for Reliability and Validity,» *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*, vol. 62, págs. 1414-1418, sep. de 2018. DOI: [10.1177/1541931218621322](https://doi.org/10.1177/1541931218621322).
- [39] N. Thomas, *How to Use the System Usability Scale (SUS) to Evaluate the Usability of Your Website - Usability Geek*, Usability Geek, ene. de 2019. dirección: <https://usabilitygeek.com/how-to-use-the-system-usability-scale-sus-to-evaluate-the-usability-of-your-website/> (visitado 2023).
- [40] J. Brooke, «SUS: A quick and dirty usability scale,» *Usability Eval. Ind.*, vol. 189, nov. de 1995.

- [41] N. Baloian y J. Pino, *Apuntes de clases, curso: Fundamentos e Ingeniería de Interacciones Humano-Computador*, DCC, Universidad de Chile, 2019.
- [42] M. del Medio Ambiente Gobierno de Chile, *Sistema de Información Nacional de Calidad del Aire*, 2015. dirección: <https://sinca.mma.gob.cl/index.php/pagina/index/id/faq> (visitado 2023).
- [43] F. Molina Matta y E. Cañas Ortega, «Régimen Jurídico De Las Estaciones Monitoras De Contaminantes Atmosféricos,» *Revista De Derecho Ambiental*, vol. 1, n.º 14, págs. 43-70, dic. de 2020. DOI: [10.5354/0719-4633.2020.54215](https://doi.org/10.5354/0719-4633.2020.54215).
- [44] M. de Salud Gobierno de Chile, *Reglamento de Estaciones de Medición de Contaminantes Atmosféricos (DS N° 61/2008)*, 2008. dirección: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?i=281728&f=2009-09-21> (visitado 2023).
- [45] J. Xia, Z. Tang, X. Shi, L. Fan y H. Li, «An Environment Monitoring System for Precise Agriculture Based on Wireless Sensor Networks,» en *2011 Seventh International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Networks*, dic. de 2011, págs. 28-35. DOI: [10.1109/MSN.2011.16](https://doi.org/10.1109/MSN.2011.16).
- [46] B. B. Bhanu, K. R. Rao, J. Ramesh y M. A. Hussain, «Agriculture field monitoring and analysis using wireless sensor networks for improving crop production,» en *2014 Eleventh International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN), Andhra Pradesh, India*, oct. de 2014, págs. 1-7. DOI: [10.1109/WOCN.2014.6923043](https://doi.org/10.1109/WOCN.2014.6923043).
- [47] F. Mendoza, «Sistema de monitoreo y control de invernaderos a través de una red inalámbrica mediante un servidor web embebido en microcontroladores de alto rendimiento,» 2010. dirección: <https://ri-ng.uaq.mx/handle/123456789/5977>.
- [48] *ZigBee Specification FAQ*, Zigbee Alliance, 2013. dirección: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/FAQ.aspx> (visitado 2023).
- [49] Wikipedia, *Zigbee*. dirección: <https://en.wikipedia.org/wiki/Zigbee>.
- [50] M. Mamani, M. Villalobos y R. Herrera-Acuña, «Sistema web de bajo costo para monitorear y controlar un invernadero agrícola,» *Ingeniare. Revista chilena de ingeniería*, vol. 25, n.º 4, U. de Tarapacá, ed., págs. 599-618, dic. de 2017. DOI: [10.4067/S0718-33052017000400599](https://doi.org/10.4067/S0718-33052017000400599).
- [51] *MQTT: The Standard for IoT Messaging*, Oasis, MQTT Technical Committee, 2023. dirección: <https://mqtt.org/>.
- [52] M. de Ambiente y Desarrollo Sostenible, *Procedimiento de Muestreo, Medición y Análisis Ambiental*, Corpogujaira; La Guajira; Colombia, 2020. dirección: <https://corpogujaira.gov.co/wp/wp-content/uploads/2021/09/053.-Procedimiento-de-Muestreo-Vers-5.pdf>.

- [53] *¿Qué es el ciclo de vida del desarrollo de software (SDLC)?* Amazon Web Services - AWS. dirección: <https://aws.amazon.com/es/what-is/sdlc/>.
- [54] *Waterfall Model*, Wikipedia. dirección: https://en.wikipedia.org/wiki/Waterfall_model.
- [55] *Ultraviolet Radiation*, European Committees Glossary, 2007. dirección: https://ec.europa.eu/health/scientific_committees/opinions_layman/glossary/tuv/uv-radiation.htm.
- [56] *Ultraviolet Radiation*, US Food y Drug Administration - FDA, 2020. dirección: <https://www.fda.gov/radiation-emitting-products/tanning/ultraviolet-uv-radiation> (visitado 2023).
- [57] J. Juran, F. Gryna y R. Bingham, *Quality Control Handbook*. McGraw Hill, 1974, ISBN: 9780070331754.
- [58] H. Veregin, «Data Quality Parameters,» *Geographical information systems*, vol. 1, págs. 177-189, 1999.
- [59] *What is Data Quality*, Informatica, Inc., 2023. dirección: <https://www.informatica.com/resources/articles/what-is-data-quality.html>.
- [60] *What is Data Quality?* IBM, Documentation Help, 2023. dirección: <https://www.ibm.com/topics/data-quality>.
- [61] A. Gupta, *The 6 data quality dimensions with examples*, Collibra, 2022. dirección: <https://www.collibra.com/us/en/blog/the-6-dimensions-of-data-quality> (visitado 2023).
- [62] A. S. Gillis, *Data Availability*, TechTarget, 2021. dirección: <https://www.techtarget.com/searchstorage/definition/data-availability>.

Anexos

Anexo A: Propuesta Técnica y Económica

Título	Propuesta Técnica y Económica Código Interno: GC – 97 – 11 “Servicio de Monitoreo Meteorológico y de Calidad del Aire”
Páginas	26

Tabla 5.1: Descripción Documento: Propuesta Técnica y Económica



  <p>PROPUESTA TÉCNICA Y ECONÓMICA</p> <p>MICOMO · GEOAIRE</p> <p>GC – 97 – 11</p> <p>“Servicio de Monitoreo Meteorológico y de Calidad del Aire”</p> <p>Minera Spence División Pampa Norte BHP Billiton Base Metals</p> <p>Santiago, 19 de Enero, 2011</p> <p>MICOMO · GEOAIRE 1/26 Monitoreo Ambiental y Meteorológico Minera Spence</p>	<p>ÍNDICE</p> <p>1 DECLARACIÓN DE CONFIDENCIALIDAD.....4</p> <p>2 RESUMEN EJECUTIVO.....6</p> <p>3 OBJETIVOS.....6</p> <p> OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....6</p> <p>4 METODOLOGÍA Y ACTIVIDADES.....7</p> <p> 4.1 SISTEMA DE GESTIÓN DE INFORMACIÓN CONTINUO Y EN LÍNEA.....7</p> <p> 4.2 SENSORES DE MEDICIÓN.....9</p> <p> 4.2.1 Estación Sierra Gorda.....11</p> <p> 4.2.2 Estación Planta Piloto.....13</p> <p> 4.2.3 Estación Open Dat.....14</p> <p> 4.2.4 Estación Planta Agua Potable.....16</p> <p> 4.3 INSTALACIÓN Y MONTAJE.....18</p> <p> 4.4 OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO DE LA RED DE MONITOREO.....18</p> <p>5 CARTA GANTT DEL PROYECTO.....19</p> <p>6 PROPUESTA ECONÓMICA.....20</p> <p> 6.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS Y AMBIENTALES.....20</p> <p> 6.2 DESARROLLO SISTEMA DE INFORMACIÓN.....21</p> <p> 6.3 COSTOS OPERACIONALES ESTACIONES Y SISTEMA DE INFORMACIÓN.....21</p> <p>7 CONSIDERACIONES Y EXCLUSIONES.....23</p> <p>8 ANEXOS.....24</p> <p> 8.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS ASOCIADAS A LA IMPLEMENTACIÓN DE CUENTAS DE MONITOREO AMBIENTAL CIUDAD DEL AIRE Y METEOROLÓGICA EN 4 SITIOS DE MINERA SPENCE.....24</p> <p> 8.2 Anexos Generales.....25</p> <p> 8.1.1 Objetivos Generales.....25</p> <p> 8.1.2 Requerimientos técnicos.....25</p> <p> 8.1.3 Requerimientos técnicos.....25</p> <p>MICOMO · GEOAIRE 3/26 Monitoreo Ambiental y Meteorológico Minera Spence</p>
---	---

Figura 5.1: Propuesta Técnica y Económica: Portada y Tabla de Contenido del Documento

Anexo B: Manual de Sistema

Título	AS SSA Manual de Sistema Versión 1.0
Páginas	66

Tabla 5.2: Descripción Documento: Manual de Sistema



Figura 5.2: Manual de Sistema: Portada y Tabla de Contenido del Documento

Anexo C: Manual de Usuario Superusuario

Título	AS SSA Manual de Usuario "Súper Usuario" Versión 1.0
Páginas	39

Tabla 5.3: Descripción Documento: Manual de Usuario - Superusuario



Figura 5.3: Manual de Usuario - Superusuario: Portada y Tabla de Contenido del Documento