REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Ciencias e Ingenierías Físicas y Formales

Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica

Diseño del sistema de ventilación y escape de combustión de la casa de fuerza del centro de investigación e innovación tecnológica CIIT-UCSM

Tesis presentada por el Bachiller:

Zegarra Pino, Sebastian Mauricio

ORCID: 0009-0009-4282-3359

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Mecánico

Asesor:

Dr. Alcazar Rojas, Herman Enrique

ORCID: 0000-0002-7651-9269

Arequipa – Perú

2025

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA MECANICA

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 21 de Julio del 2025

Dictamen: 011867-C-EPIMMEM-2025

Visto el borrador del expediente 011867, presentado por:

2018226071 - **ZEGARRA PINO SEBASTIAN MAURICIO**

Titulado:

DISEÑO DEL SISTEMA DE VENTILACIÓN Y ESCAPE DE COMBUSTIÓN DE LA CASA DE FUERZA DEL CENTRO DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN TECNOLÓGICA CIIT-UCSM

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Titulo Profesional/Titulo de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO MECANICO

21535915 - **DONAYRE CAHUA JESUS MANUEL**
DICTAMINADOR

29685318 - **CASTRO VALDIVIA JORGE LUIS**
DICTAMINADOR

29529560 - **CACERES NUÑEZ AUGUSTO EMILIO CARLOS**
DICTAMINADOR

Diseño del sistema de ventilación y escape de combustión de la casa de fuerza del centro de investigación e innovación tecnológica CIIT-UCSM

INFORME DE ORIGINALIDAD

6%	6%	1%	3%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	airesdemadrid.com Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Católica de Santa María Trabajo del estudiante	<1%
4	investigacion.unirioja.es Fuente de Internet	<1%
5	www.coursehero.com Fuente de Internet	<1%
6	www.osinergmin.gob.pe Fuente de Internet	<1%
7	www.csic.es Fuente de Internet	<1%
8	repositorio.ucsm.edu.pe Fuente de Internet	<1%

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DEDICATORIA

Le dedico esta tesis a mis padres Robin y Jenny, y a mi hermano Diego que hicieron posible que yo estudiara esta carrera, que me han dado su apoyo y cariño incondicional durante todo el proceso, por eso y mucho más les agradezco de todo corazón y les ofrezco este documento como prueba final de que todo el esfuerzo que hicieron por mí dio frutos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia en general que siempre estuvieron conmigo y me ayudaron cuando lo necesité.

Agradezco a todos mis profesores durante estos cinco años, que me guiaron en el camino del conocimiento y la ética profesional, entregando estos años de su vida para impartir conocimientos que como profesionales nos serán de utilidad.

Agradezco especialmente a mis amigos Yerival, André y Alexandra, quienes siempre estuvieron ahí para mí y me apoyaron de diferentes formas, a pesar de la distancia nunca fue impedimento para ellos.

Finalmente, le gradezco a los ingenieros. Hermann Alcázar y Carlos Gordillo quienes siempre nos dieron lo mejor de ellos en cada clase y quienes dejaron una marca en mí en cuanto a la forma de pensar y que uno siempre debe mejorar, nunca quedarse estancado.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RESUMEN

La presente tesis desarrolla el diseño del sistema de ventilación y evacuación de gases de combustión de la casa de fuerza del Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT) de la Universidad Católica de Santa María, considerando las condiciones operativas específicas de los equipos principales que conforman el recinto. El estudio contempla la recopilación de datos técnicos, el dimensionamiento de generadores eléctricos y compresores de aire, así como la evaluación detallada de las demandas térmicas y de flujo asociadas. Se aplicaron criterios normativos establecidos por el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente la Norma Técnica E.050, para definir las condiciones de descarga de gases, y se desarrollaron cálculos de número de Mach que permitieron caracterizar el tipo de flujo presente en el sistema. Además, se llevó a cabo un modelamiento computacional mediante simulaciones CFD en SolidWorks, que permitió analizar la distribución de presiones, velocidades y temperaturas en distintos escenarios de diseño. A partir de estos análisis, se propusieron configuraciones óptimas de ventilación y escape, adaptadas al rediseño del recinto en un doble sótano tras el incremento en la capacidad de generación. El resultado final es una propuesta técnica viable y segura, que asegura una evacuación eficaz de los gases, el funcionamiento estable de los equipos y condiciones ambientales adecuadas para el desarrollo de actividades científicas dentro del CIIT.

Palabras Clave: ventilación de generadores, evacuación de gases de escape, simulación CFD.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ABSTRACT

This thesis presents the design of the ventilation and combustion gas exhaust system for the powerhouse of the Technological Research and Innovation Center (CIIT) at the Universidad Católica de Santa María, considering the specific operating conditions of the main equipment housed in the facility. The study includes the collection of technical data, sizing of electrical generators and air compressors, and a detailed assessment of the thermal and flow demands involved. National regulatory standards, particularly the Technical Standard E.050 from the National Building Regulations, were applied to define safe gas discharge requirements. Mach number calculations were conducted to characterize the flow regime, confirming the presence of incompressible flow conditions. Furthermore, computational modeling using CFD simulations in SolidWorks was carried out to evaluate pressure, velocity, and temperature distributions across different design scenarios. Based on these results, optimal configurations for ventilation and exhaust systems were proposed, adapting to a redesigned double-level basement layout resulting from the increased generator capacity. The final outcome is a technically feasible and safe proposal that ensures effective gas evacuation, stable equipment operation, and suitable environmental conditions for scientific activities within the CIIT.

Keywords: generators ventilation, exhaust gas evacuation, CFD simulation.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE

DEDICATORIA
AGRADECIMIENTOS
RESUMEN
ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I
1. MARCO METODOLÓGICO 6
1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA 6
1.2. OBJETIVOS 7
1.2.1. Objetivo general 7
1.2.2. Objetivos específicos 7
1.3. JUSTIFICACIÓN 8
1.4. ALCANCES 8
1.5. LIMITACIONES 9

CAPÍTULO II
2. MARCO TEÓRICO 11
2.1. FUNDAMENTOS DE GENERADORES ELÉCTRICOS 12
2.1.1. Principios de funcionamiento y componentes principales 14
2.1.2. Parámetros eléctricos clave y dimensionamiento 16
2.1.3. Consideraciones de instalación y operación 18
2.2. SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE AIRE DE INSTRUMENTACIÓN 20
2.2.1. Principios generales de compresión de aire 20
2.2.2. Tipos de compresores utilizados en instrumentación 21
2.2.3. Calidad del aire comprimido y normativas aplicables 21
2.2.4. Disposición y Operación del Sistema Neumático 22
2.3. SISTEMAS DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL Y MANEJO DE AIRE 23
2.3.1. Funcionamiento de un sistema de ventilación 24
2.3.2. Clasificación de los sistemas de ventilación 24
2.3.3. Principios de transferencia de calor y cargas térmicas 27
2.3.4. Tipos de ventilación 28
2.3.5. Estrategias de flujo de aire específicas para casas de fuerza 31
2.3.6. Componentes de un sistema de ventilación 32
2.4. SISTEMAS DE ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN 36
2.4.1. Composición y riesgos de los gases de escape 37
2.4.2. Control por nivel de monóxido de carbono 38
2.4.3. Diseño de chimeneas y ductos de escape 40
2.4.4. Silenciadores (mufflers) 41
2.5. PRINCIPIOS DE INSONORIZACIÓN Y CONTROL DE RUIDO 41
2.5.1. Fuentes y características del ruido en casas de fuerza 42

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.2. Fundamentos de acústica y medición del ruido 42
2.5.3. Estrategias de control de ruido y aislamiento de vibraciones 43
2.5.4. Materiales y soluciones acústicas 44

CAPÍTULO III

3. DEFINICIÓN Y UBICACIÓN DE EQUIPOS DENTRO DE LA CASA DE FUERZA 46

3.1. RECOPILACIÓN DE DATA TÉCNICA PARA EQUIPOS REQUERIDOS EN EL RECINTO 46
3.2. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS 46
3.2.1. Análisis de la demanda eléctrica del CIIT-UCSM 47
3.2.2. Justificación del dimensionamiento de los generadores eléctricos 49
3.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO 50
3.3.1. Requisitos del sistema de aire comprimido 50
3.3.2. Estimación de la demanda simultánea y justificación del diseño 51
3.3.3. Componentes del sistema seleccionado 52
3.3.4. Justificación de la selección de compresores y tanques 53
3.3.5. Dimensionamiento para el factor de simultaneidad de 5 minutos 54
3.4. MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DEL RECINTO 56
3.5. ANÁLISIS DE ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS 57
3.5.1. Esquema-1 58
3.5.2. Esquema-2 59
3.5.3. Esquema-3 61
3.5.4. Esquema-4 62
3.5.5. Esquema-5 63
3.6. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN 64
3.7. UBICACIÓN DE EQUIPOS Y GESTIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO 66
3.8. DISTRIBUCIÓN FINAL EN NIVELES -1 Y -2 69
3.9. NORMAS DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTALES A TOMAR EN CUENTA 70

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN 74

4.1. MARCO NORMATIVO APLICABLE 74
4.2. CÁLCULO DE NÚMERO DE MATCH PARA DIÁMETROS DE TUBERÍA 74
4.2.1. Tuberías de 8” (0.2032 m) 75
4.2.2. Tuberías de 10” (0.254 m) 76
4.2.3. Tuberías de 12” (0.3048 m) 77
4.2.4. Interpretación de resultados 78
4.3. MODELAMIENTO CON PARÁMETROS DE: FLUJO, CAÍDA DE PRESIÓN Y CALIDAD DE GASES DE COMBUSTIÓN 79
4.4. CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA DE ESCAPE 81
4.4.1. Escenario 1 82
4.4.2. Escenario 2 84

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4.4.3. Escenario 3 85

CAPÍTULO V

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE DE ENFRIAMIENTO 88

5.1. MODELAMIENTO 3D DEL RECINTO CON MOVIMIENTO DE AIRE 88

5.1.1. Simulación 1 89

5.1.2. Simulación 2 94

5.1.3. Simulación 3 96

5.1.4. Simulación 4 100

5.1.5. Simulación 5 107

5.2. CÁLCULOS 109

5.2.1. Cuantificación de la carga térmica total 109

5.2.2. Cálculos del caudal de aire y temperaturas de operación 110

5.2.3. Justificación del Sistema de Ventilación 112

5.2.4. Justificación de potencia eléctrica de motores de ventilación 113

CONCLUSIONES 115

RECOMENDACIONES 117

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS 119

ANEXOS

Anexo 1. Plano de distribución de la casa de fuerza y planos referenciales (nivel -1 y -2) 124

Anexo 2. Esquema de flujo de aire en el recinto 128

Anexo 3. Reporte de simulación CFD: flujo de aire 130

Anexo 4. Reporte de simulación CFD: gases de escape 141

Anexo 4. Ficha técnica de Generador Caterpillar 151

Anexo 4. Ficha técnica de compresores de tornillo 157

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 *Ventilación por impulsión* 30
Figura 2.2 *Ventilación por extracción* 30
Figura 2.3 *Ahorro de energía y nivel máximo de CO obtenido por sistemas de ventilación controlado por el nivel de CO* 39
Figura 2.4 *Perfiles de movimiento de tres vehículos analizados* 39
Figura 3.1 *Distribución Esquema 1* 59
Figura 3.2 *Distribución Esquema 2* 60
Figura 3.3 *Distribución Esquema 3* 61
Figura 3.4 *Distribución Esquema 4* 62
Figura 3.5 *Distribución Esquema 5* 63
Figura 3.6 *Posibles disposiciones para la salida de aire* 66
Figura 3.7 *Dimensiones de Generador de 800KV* 67
Figura 3.8 *Distribución en Pisos -2 y -1* 68
Figura 3.9 *Distribución espacial CIIT y ubicación de la casa de fuerza* 70
Figura 4.1 *Propuesta de distribución final* 79
Figura 4.2 *Simulaciones de presión, velocidad y temperatura del escenario 1* 83
Figura 4.3 *Simulaciones de presión, velocidad y temperatura del escenario 2* 85
Figura 4.4 *Simulaciones de presión, velocidad y temperatura del escenario 3* 86
Figura 5.1 *Escenario 1 con velocidad del flujo de aire-3 generadores y compresores operando* 89
Figura 5.2 *Escenario 1 con presiones del flujo de aire-3 generadores y compresores operando* 90
Figura 5.3 *Escenario 2 con velocidad del flujo de aire-generador 1 y compresores operando* 91
Figura 5.4 *Escenario 2 con presiones del flujo de aire-generador 1 y compresores operando* 91
Figura 5.5 *Escenario 3 con velocidad del flujo de aire-generador 2 y compresores operando* 92
Figura 5.6 *Escenario 3 con presiones del flujo de aire-generador 2 y compresores operando* 93
Figura 5.7 *Escenario 4 con velocidad del flujo de aire-generador 3 y compresores operando* 93
Figura 5.8 *Escenario 4 con presiones del flujo de aire-generador 3 y compresores operando* 94
Figura 5.9 Escenario 1 velocidad y presión del flujo de aire-a plena carga con 4 deflectores 95

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5.10 Escenario 2 velocidad del flujo de aire-a plena carga con 7 deflectores 96

Figura 5.11 *Plenum modificado con salida de aire hacia la izquierda* 97

Figura 5.12 *Escenario 1 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-a plena carga con 7 deflectores* 97

Figura 5.13 *Escenario 1 presiones del flujo de aire con apertura lateral-a plena carga con 7 deflectores* 98

Figura 5.14 *Escenario 2 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 encendido y compresores encendidos* 99

Figura 5.15 *Escenario 3 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 2 encendido y compresores encendidos* 99

Figura 5.16 *Escenario 4 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 encendido y compresores encendidos* 100

Figura 5.17 *Modelo 3D del Plenum actualizado* 101

Figura 5.18 *Escenario 1 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generadores a plena carga y compresores encendidos* 101

Figura 5.19 *Escenario 2 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 encendido y compresores encendidos* 102

Figura 5.20 *Escenario 3 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 2 encendido y compresores encendidos* 103

Figura 5.21 *Escenario 4 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 3 encendido y compresores encendidos* 103

Figura 5.22 *Escenario 5 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 y 2 encendidos y compresores encendidos* 104

Figura 5.23 *Escenario 6 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 2 y 3 encendidos y compresores encendidos* 105

Figura 5.24 *Escenario 7 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 y 3 encendidos y compresores encendidos* 106

Figura 5.25 *Escenario 7 presiones del flujo de aire con apertura lateral-a plena carga con deflectores mejorados* 106

Figura 5.26 *Modelo 3D del recinto general (sótano 1 y 2)* 107

Figura 5.27 *Escenario 1 Recinto modelado completo, velocidad de flujo-generadores a plena carga y compresores encendidos* 108

Figura 5.28 *Escenario 1 Recinto modelado completo, presión de flujo-generadores a plena carga y compresores encendidos* 108

Figura 5.29 *Escenario 1 Recinto modelado completo, temperatura de flujo-generadores a plena carga y compresores encendidos* 109

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 *Constituyentes típicos de los gases de combustión* 6
Tabla 3.1 *Demanda Estimada del Área de Ciencia* 48
Tabla 3.2 *Demanda Estimada del Área de Tecnología* 48
Tabla 3.3 *Estimación del caudal proyectado de aire comprimido por laboratorio* 52
Tabla 3.4 *Tabla de Valoración para selección de configuración del recinto* 64
Tabla 5.1 *Hojas técnicas Velocidad del aire* 114

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ABREVIATURAS

ASHRAE	American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers
BTU	British Thermal Unit
CFM	Cubic Feet per Minute
CH4	Metano
CIIT	Centro de Investigación e Innovación Tecnológica
CO2	Dióxido de Carbono
COP	Coefficient of Performance (Coeficiente de Rendimiento)
DB	Decibel (especificar si es dB(A) u otro en el texto)
DIGESA	Dirección General de Salud Ambiental e Inocuidad Alimentaria
EER	Energy Efficiency Ratio
GEI	Gases de Efecto Invernadero
GWP	Potencial de Calentamiento Global (Global Warming Potential)
HFCs	Hidrofluorocarbonos
HP	Horsepower (Caballos de fuerza)
IPCC	Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change)
ISO	International Organization for Standardization
kVAr	Kilovoltamperio reactivo
kW	Kilovatio
MINAM	Ministerio del Ambiente
MINEM	Ministerio de Energía y Minas
MT	Masa Térmica
MWh	Megavatio-hora
N2O	Óxido Nitroso
PFCs	Perfluorocarbonos
PF	Factor de Potencia (Power Factor)
RNE	Reglamento Nacional de Edificaciones
RPM	Revoluciones por Minuto
SEER	Seasonal Energy Efficiency Ratio
SF6	Hexafluoruro de Azufre
UCSM	Universidad Católica de Santa María

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

UPC	Universal Power Corporation (verificar su significado en tu contexto)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

LISTA DE SÍMBOLOS

A	Área	[m²]
cp	Calor específico a presión constante	[J/(kg·K)]
D	Diámetro	[m]
E	Energía	[J]
g	Aceleración de la gravedad	[m/s²]
h	Altura / Entalpía (especificar en el texto)	[m] o [J/kg]
k	Conductividad térmica	[W/(m·K)]
L	Longitud	[m]
$\dot{m}$	Flujo másico	[kg/s]
Nu	Número de Nusselt	(adimensional)
P	Presión / Potencia (especificar en el texto)	[Pa] o [W]
Pr	Número de Prandtl	(adimensional)
Q	Caudal de aire / Flujo de calor (especificar en el texto)	[m³/s] o [W]
Re	Número de Reynolds	(adimensional)
T	Temperatura	[°C] o [K]
U	Coeficiente global de transferencia de calor	[W/(m²·K)]
V	Volumen	[m³]
$\dot{V}$	Flujo volumétrico	[m³/s]
W	Trabajo	[J]
ΔT	Diferencia de temperatura	[°C] o [K]
ε	Emisividad	(adimensional)
η	Eficiencia	(adimensional)
μ	Viscosidad dinámica	[Pa·s]
ρ	Densidad	[kg/m³]
σ	Constante de Stefan-Boltzmann	[W/(m²·K⁴)]

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

INTRODUCCIÓN

La operatividad continua y segura de las infraestructuras críticas en centros de investigación y desarrollo es indispensable para el avance tecnológico y la innovación. Para garantizar esta continuidad, especialmente ante interrupciones del suministro eléctrico principal, es fundamental contar con instalaciones de respaldo robustas y diseñadas específicamente para sus equipos. La Universidad Católica de Santa María (UCSM), a través de su Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT), se proyecta a consolidarse como un referente en la academia e investigación en el sur del Perú. En el marco de su construcción y para asegurar la fiabilidad energética de sus equipos más críticos, se requiere construir una casa de fuerza dedicada exclusivamente a albergar sistemas auxiliares esenciales.

Esta casa de fuerza representa un proyecto de infraestructura clave para el CIIT-UCSM. Su diseño debe ser meticuloso para integrar y soportar eficientemente los equipos que contendrá, tales como generadores eléctricos destinados a proveer energía en situaciones de emergencia, y sistemas de compresión de aire de instrumentación, vitales para el funcionamiento continuo de los laboratorios. La particularidad de estos equipos, como la generación de calor, la emisión de gases de escape y la necesidad de operar en condiciones ambientales controladas, demanda un recinto técnicamente adecuado que garantice una ventilación eficiente y una evacuación segura de los productos de combustión, minimizando también el ruido generado mediante dispositivos de insonorización incluidos en los propios equipos.

Actualmente, no se dispone de un diseño técnico integral que articule la configuración espacial, los requisitos operativos y los sistemas de ventilación y escape de gases que demanda una casa de fuerza de este tipo. En ese contexto, el presente trabajo de tesis plantea una propuesta de diseño técnico que permita integrar de manera coherente los sistemas

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

auxiliares y sus condiciones operativas dentro del nuevo recinto propuesto para el CIIT-UCSM.

El objetivo general de este trabajo es diseñar técnicamente el sistema de ventilación y evacuación de gases de combustión de la casa de fuerza proyectada para el CIIT-UCSM, considerando la selección y disposición de generadores eléctricos y compresores de aire, con el fin de garantizar condiciones seguras y eficientes para su futura operación en un recinto subterráneo.

Para cumplir este objetivo, se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar los requerimientos operativos y funcionales de los sistemas de generación eléctrica y compresión de aire necesarios para la casa de fuerza del CIIT-UCSM, con base en las demandas proyectadas y las condiciones del recinto.

2. Establecer los criterios técnicos de selección y dimensionamiento de los generadores y compresores, considerando normativas vigentes, condiciones de operación en espacio subterráneo y posibles escenarios de carga.

3. Proponer una distribución espacial preliminar de los equipos dentro del recinto, que garantice accesibilidad, seguridad, mantenibilidad y compatibilidad con los sistemas de ventilación y evacuación de gases.

4. Diseñar el sistema de ventilación y evacuación de gases de combustión, mediante análisis técnico y simulación computacional (CFD), evaluando su comportamiento ante distintos escenarios de operación.

La justificación de esta investigación radica en su impacto funcional, operativo y estratégico. Desde el punto de vista funcional, el diseño propuesto asegura la continuidad del suministro eléctrico a equipos críticos y la provisión de aire comprimido para procesos de investigación. Operativamente, el proyecto se enfoca en la selección adecuada de equipos, el dimensionamiento de los sistemas de ventilación y escape, y el modelamiento computacional que respalda técnicamente cada decisión. Estratégicamente, la ejecución

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

futura de esta casa de fuerza permitirá al CIIT-UCSM consolidar su autonomía energética y operativa, dotando al centro de condiciones adecuadas para el desarrollo de actividades científicas de alto nivel, en línea con el compromiso de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica con soluciones de ingeniería aplicada.

El alcance de esta tesis abarca el diseño técnico de la casa de fuerza del CIIT-UCSM, la selección de los equipos auxiliares principales (generadores eléctricos y compresores de aire), y la configuración del sistema de ventilación y escape de gases de combustión. No contempla la ejecución física del recinto ni el análisis económico de la inversión, pero se sustenta en la viabilidad técnica de cada componente propuesto. El diseño sigue criterios normativos nacionales e internacionales pertinentes, como lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú (RNE), en especial la Norma Técnica E.050.

La estructura de la presente tesis se organiza en los siguientes capítulos: El Capítulo I presenta esta introducción, donde se expone la necesidad, justificación y objetivos del proyecto. El Capítulo II desarrolla el marco teórico, incluyendo los fundamentos técnicos de generadores eléctricos, sistemas de compresión de aire, ventilación y evacuación de gases. El Capítulo III expone la metodología seguida para la recolección de datos técnicos, selección de equipos y disposición espacial. El Capítulo IV describe el diseño detallado del sistema de ventilación y escape de gases, incluyendo simulaciones computacionales. Finalmente, el Capítulo V presenta las conclusiones y recomendaciones resultantes de este estudio.

La justificación de esta investigación radica en su impacto funcional, de seguridad y estratégico. Funcionalmente, este diseño aporta la solución de ingeniería necesaria para garantizar el suministro eléctrico continuo a equipos críticos y la disponibilidad de aire de instrumentación, elementos esenciales para las actividades de investigación del CIIT-UCSM. En términos de seguridad, el diseño integral prioriza la protección del personal y los equipos, incorporando un sistema contra incendios y una gestión adecuada de las emisiones y el ruido. Estratégicamente, la construcción de esta casa de fuerza refuerza la infraestructura del CIIT-UCSM, dotándola de una autonomía energética fundamental para su crecimiento y consolidación como un centro de investigación de primer nivel en la región, demostrando el compromiso de la Escuela Profesional de Ingeniería Mecánica con soluciones de ingeniería aplicada.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El alcance de este trabajo se circunscribe al diseño conceptual y técnico de la casa de fuerza del CIIT-UCSM, la selección de sus equipos auxiliares principales (generadores, compresores, sistema contra incendios) y la configuración de su recinto. No contempla la ejecución física de las instalaciones, ni un análisis económico-financiero detallado de la inversión y el retorno de la construcción, aunque considera la viabilidad técnica de los componentes propuestos. Los diseños se basarán en las normativas peruanas vigentes y en estándares internacionales de diseño y seguridad industrial para centrales de generación y salas de máquinas.

La estructura de la presente tesis se ha organizado en los siguientes capítulos: El Capítulo I presenta la Introducción, donde se expone la necesidad, la justificación y los objetivos del diseño. El Capítulo II aborda el Marco Teórico, incluyendo los fundamentos de los generadores eléctricos, sistemas de compresión de aire, ventilación industrial y sistemas contra incendios. El Capítulo III detalla la Metodología empleada para la identificación de requisitos, la selección de equipos y el proceso de diseño. El Capítulo IV presenta el Desarrollo del Diseño para cada uno de los sistemas y el recinto propuesto. Finalmente, se expone las Conclusiones y Recomendaciones derivadas de la investigación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1. MARCO METODOLÓGICO

1.1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT) de la Universidad Católica de Santa María (UCSM), actualmente en fase de planificación, contempla la implementación de una casa de fuerza ubicada en el sótano del edificio, cuya función será albergar sistemas auxiliares críticos como generadores eléctricos y compresores de aire de instrumentación. Sin embargo, no se cuenta aún con un diseño técnico integral que permita establecer condiciones adecuadas para su operación segura y eficiente.

El principal desafío que presenta este proyecto es el desarrollo de un diseño que permita gestionar de forma efectiva el calor residual y los gases de combustión generados por los equipos auxiliares. El funcionamiento de los generadores diésel implica la emisión de gases contaminantes (especificados en la tabla 1.1), entre ellos el monóxido de carbono (CO), sustancia altamente tóxica y más densa que el oxígeno, cuya acumulación en espacios cerrados representa un riesgo severo para la salud humana. Estos gases, además de afectar la seguridad del personal, comprometen la durabilidad de los equipos e incumplen estándares ambientales si no se extraen adecuadamente.

Tabla 1.1

Constituyentes típicos de los gases de combustión

Constituyentes	Parado (ppm)	Acelerando (ppm)	En marcha (ppm)	Desacelerando (ppm)
Hidrocarburos				
MECH	10000	6000	5000	30000
MEC	1500	1000	800	1500
Óxidos de Nitrógeno				
MECH	30	1200	650	30
MEC	60	850	240	30
Gases de combustión, scfm				
MECH	6.8	105	25	18
MEC	25	105	77	70
CO, porcentaje				
MECH	5	5	0.6	5
MEC	0.4	0.2	0.03	-
CO_2, porcentaje				
MECH	9.5	10	12.5	9.5
MEC	1	11	7	-

Nota. Extraído de (OBERT, 1973)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Asimismo, los generadores y compresores disipan una cantidad considerable de calor durante su operación, lo cual exige una solución de ventilación que garantice un flujo de aire constante y eficiente dentro del recinto. Este sistema debe proporcionar aire fresco suficiente para los procesos de combustión, refrigerar los equipos y permitir la evacuación del aire caliente, todo ello sin generar recirculación indeseada ni zonas de estancamiento térmico.

La inexistencia de un diseño técnico que contemple estos aspectos compromete la futura construcción del CIIT, pues impide definir espacios, especificar equipos e integrar soluciones de ventilación y escape dentro del proyecto arquitectónico. En este contexto, surge la necesidad de formular una propuesta integral que incluya la selección, ubicación y diseño funcional de los sistemas auxiliares, validada mediante simulaciones computacionales y fundamentada en normativa técnica.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo general

Diseñar técnicamente el sistema de ventilación y evacuación de gases de combustión de la casa de fuerza proyectada para el CIIT-UCSM, considerando la selección y disposición de generadores eléctricos y compresores de aire, con el fin de garantizar condiciones adecuadas y eficientes para su futura operación en un recinto subterráneo.

1.2.2. Objetivos específicos

1) Determinar los requerimientos operativos y funcionales de los sistemas de generación eléctrica y compresión de aire necesarios para la casa de fuerza del CIIT-UCSM, con base en las demandas proyectadas y las condiciones del recinto.

2) Establecer los criterios técnicos de selección y dimensionamiento de los generadores y compresores, considerando normativas vigentes, condiciones de operación en espacio subterráneo y posibles escenarios de carga.

3) Diseñar el sistema de ventilación y evacuación de gases de combustión, mediante análisis técnico y simulación computacional (CFD), evaluando su comportamiento ante distintos escenarios de operación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.3. JUSTIFICACIÓN

El diseño adecuado de la casa de fuerza del CIIT-UCSM es un componente esencial para garantizar la operatividad segura y continua de los equipos auxiliares que permitirán el desarrollo de actividades científicas y tecnológicas en el futuro centro. La correcta gestión térmica y la evacuación de gases contaminantes no solo son vitales para la integridad del personal y los equipos, sino también para el cumplimiento de normativas ambientales y de seguridad.

Esta tesis aborda una problemática técnica concreta desde una perspectiva de ingeniería aplicada, proponiendo una solución integral basada en criterios de diseño, simulaciones CFD y normativas nacionales e internacionales. La propuesta contribuirá directamente a la viabilidad del proyecto arquitectónico del CIIT-UCSM, asegurando que las condiciones operativas de los sistemas auxiliares sean funcionales, eficientes y seguras desde la etapa de planificación.

1.4. ALCANCES

El presente trabajo de tesis comprende el diseño técnico de la casa de fuerza proyectada para el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT) de la Universidad Católica de Santa María (UCSM), enfocado en los siguientes aspectos:

- El análisis de requerimientos funcionales y operativos para la instalación de generadores eléctricos y compresores de aire de instrumentación en un recinto subterráneo.

- La determinación de criterios de selección y dimensionamiento preliminar de los equipos auxiliares, en función de las necesidades proyectadas del CIIT-UCSM y de la normativa técnica vigente.

- El desarrollo de un modelo tridimensional del recinto, incluyendo la disposición espacial de los equipos, orientado a garantizar condiciones adecuadas de operación, mantenimiento y seguridad.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- El diseño del sistema de ventilación y evacuación de gases de combustión, mediante cálculos técnicos y simulaciones CFD, que permita validar su desempeño bajo distintos escenarios de funcionamiento.

- La elaboración de una propuesta técnica integral que sirva como base para su incorporación en la etapa de diseño arquitectónico y construcción futura del CIIT-UCSM.

1.5. LIMITACIONES

En el Perú los estudios sobre la exposición a los gases de monóxido de carbono son muy básicas, por lo que muchos de los datos que se brindan en este proyecto vienen de estudios de autores internacionales.

Las normas con las que se basa estos estudios, de los cuales se recogieron los datos de concentración máxima permisible del gas de estudio que es el monóxido de carbono son diversas, por lo que se está tomando la más perjudicial para la salud, siendo este el criterio más conservador.

En el Perú no existe una norma vigente para el cálculo de sistema de extracción de monóxido de carbono por lo que este proyecto se basa en normas internacionales que rigen en este tema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2. MARCO TEÓRICO

El desarrollo de este capítulo tiene como propósito establecer las bases teóricas que sustentan el diseño técnico de los sistemas principales que conforman la casa de fuerza del Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT) de la Universidad Católica de Santa María (UCSM). Esta infraestructura está destinada a albergar equipos electromecánicos esenciales para el soporte y funcionamiento continuo de las operaciones, tales como grupos electrógenos, sistemas de aire comprimido para instrumentación, sistemas de ventilación mecánica, y sistemas de evacuación de gases de combustión.

Para asegurar una comprensión integral y técnica de los elementos que intervienen en el diseño de dichos sistemas, se abordan los fundamentos operativos, principios físicos, parámetros normativos y consideraciones de instalación asociados a cada uno de ellos. Este enfoque teórico permite entender el comportamiento de los equipos dentro de un recinto cerrado, las interacciones entre subsistemas, y los requerimientos básicos que deben cumplirse para garantizar una operación funcional, confiable y segura.

En esta línea, se ha recurrido a fuentes normativas y técnicas reconocidas internacionalmente, tales como las guías de diseño de ASHRAE (American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers), los estándares de ISO (International Organization for Standarization) e IEEE (Institute of Electrical and Electronic Engineers), y documentación técnica de fabricantes especializados. Estos documentos proporcionan los criterios necesarios para abordar aspectos como la transferencia de calor en espacios cerrados, la circulación de aire, la selección de equipos según demanda, y la evacuación adecuada de subproductos de combustión.

Asimismo, se contempla de manera general que ciertos equipos pueden incorporar, según las especificaciones del fabricante o del proyecto, soluciones para el tratamiento acústico como silenciadores en los sistemas de escape. Si bien este aspecto no constituye un eje principal del desarrollo, se reconoce su relevancia en contextos donde los niveles sonoros requieren ser controlados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El contenido de este capítulo se organiza de manera temática, desarrollando en primer lugar los fundamentos eléctricos de los grupos electrógenos, seguidos por los principios de operación de los compresores de aire y los requerimientos del sistema neumático. Posteriormente, se detallan los conceptos clave asociados al diseño de ventilación forzada, la evaluación de cargas térmicas y el manejo del calor generado por los equipos. Finalmente, se aborda la evacuación de gases de combustión, con base en principios termodinámicos y de seguridad operacional.

Cada una de estas secciones busca proporcionar al lector un entendimiento técnico riguroso de los sistemas involucrados, como paso previo indispensable para las decisiones de diseño que serán detalladas en los siguientes capítulos.

2.1. FUNDAMENTOS DE GENERADORES ELÉCTRICOS

Los grupos electrógenos representan sistemas fundamentales en la provisión de energía de respaldo para instalaciones críticas, ya que permiten mantener la continuidad operativa en caso de fallos o interrupciones del suministro eléctrico principal. En contextos institucionales, industriales o tecnológicos, como es el caso de un centro de investigación, estos equipos permiten asegurar la funcionalidad de los sistemas dependientes de energía mediante una fuente autónoma, confiable y técnicamente controlada (IEEE, 2010).

Técnicamente, un grupo electrógeno está compuesto por un motor de combustión interna, habitualmente de ciclo diésel para aplicaciones industriales, acoplado mecánicamente a un generador síncrono o alternador. Este conjunto realiza la conversión de energía química en energía mecánica, y finalmente en energía eléctrica mediante principios de inducción electromagnética. El diseño y selección de estos sistemas requiere la comprensión de diversos parámetros técnicos que condicionan su operación: potencia nominal, tipo de carga, condiciones de arranque, y calidad de energía generada.

Uno de los aspectos más importantes es el dimensionamiento eléctrico, que se basa en la potencia aparente (kVA) y la potencia activa (kW). Estos valores están relacionados por el factor de potencia (FP), comúnmente considerado igual a 0,8 para instalaciones industriales. Por ejemplo, un generador de 800 kVA entregaría 640 kW de potencia activa. Este dimensionamiento debe contemplar tanto la carga continua como los picos de demanda

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

generados por el arranque de motores o cargas inductivas, las cuales pueden generar corrientes transitorias hasta 7 veces superiores a la corriente nominal (Magrab, 2020).

Adicionalmente, se deben considerar variables como la frecuencia de salida (usualmente 50 o 60 Hz) y la tensión nominal del sistema. En Perú, por normativa eléctrica nacional, los sistemas trifásicos suelen operar a 400/230 V y 50 Hz, conforme al Reglamento Nacional de Instalaciones Eléctricas (Ministerio de Energía y Minas, 2006). Los generadores deben ser seleccionados de forma tal que aseguren compatibilidad con estos parámetros, garantizando estabilidad de tensión y frecuencia ante variaciones de carga.

Para enfrentar estas variaciones, los generadores modernos cuentan con reguladores automáticos de voltaje (AVR), que ajustan la excitación del generador para mantener una tensión constante, incluso cuando la carga varía. Además, están equipados con controladores electrónicos inteligentes capaces de monitorear en tiempo real variables críticas del sistema como presión de aceite, temperatura del refrigerante, velocidad del motor, y niveles de combustible, así como emitir alertas y ejecutar paradas automáticas ante condiciones anómalas (Caterpillar, 2019).

Otra característica relevante en la operación de estos equipos es su capacidad de operar en paralelo, lo que permite sumar potencias, repartir cargas, introducir redundancia y realizar mantenimientos sin interrupciones. Esta capacidad requiere de sistemas de sincronización y conmutación automáticos, así como ajustes precisos de fase, frecuencia y tensión para lograr una integración efectiva (Cummins Power Generation, 2020).

Respecto a la calidad de la energía, el diseño debe prever un generador capaz de entregar tensión estable, baja distorsión armónica y buena respuesta ante cargas no lineales. Estos factores son especialmente importantes en instalaciones que alimentan equipos electrónicos, sistemas de control o instrumentación precisa. Una distorsión excesiva puede generar errores de operación, sobrecalentamiento o fallos en equipos sensibles (McGranaghan, 2007).

En cuanto a los sistemas auxiliares del grupo electrógeno, se destacan los subsistemas de lubricación, refrigeración, alimentación de combustible, escape de gases, y arranque. Cada uno de ellos debe cumplir con especificaciones técnicas establecidas para garantizar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

una operación continua, con especial énfasis en la confiabilidad de arranque en frío, la autonomía de combustible, y la disipación térmica. En lo referente al escape, los fabricantes suelen ofrecer equipos con silenciadores incorporados o disponibles como accesorios para atenuar el ruido mecánico generado por el motor, lo que permite adaptarse a normativas de emisión sonora cuando se requiera.

Finalmente, los grupos electrógenos deben cumplir con normas internacionales que regulan su diseño, operación y ensayo. La serie ISO (2018) proporciona especificaciones para clasificar el tipo de operación (emergencia, continuo, prime), los niveles de rendimiento, y las pruebas a las que deben someterse los equipos. Asimismo, estándares como NFPA (2019) regulan los requisitos para sistemas de energía de emergencia en instalaciones críticas, incluyendo tiempos de arranque, confiabilidad y mantenimiento.

La correcta selección e integración de un grupo electrógeno requiere, por tanto, de un enfoque técnico multidisciplinario que considere las características de la carga, las condiciones operativas esperadas, las normativas aplicables y las configuraciones de respaldo deseadas.

2.1.1. Principios de funcionamiento y componentes principales

El funcionamiento de un grupo electrógeno se basa en el principio de inducción electromagnética, formulado por Faraday, el cual establece que un campo magnético variable en el tiempo puede inducir una corriente eléctrica en un conductor. Este principio es aplicado mediante el acoplamiento entre un motor de combustión interna y un alternador trifásico.

El motor, al quemar combustible diésel, genera energía mecánica rotacional que es transferida al eje del alternador. Este último, mediante la rotación de un campo magnético dentro de un conjunto de bobinas (estator), genera una corriente alterna, generalmente trifásica, la cual puede ser utilizada directamente o bien transformada según los requerimientos del sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El grupo electrógeno incluye además una serie de subsistemas críticos que aseguran su operación y desempeño. A continuación, se detallan sus principales componentes (OBERT, 1973):

- **Motor de Combustión Interna.** Constituye la fuente de potencia mecánica. Para aplicaciones de respaldo de gran escala, los motores diésel son predominantes debido a su robustez, alta eficiencia, rápida respuesta al arranque y la facilidad de almacenamiento de su combustible. El motor convierte la energía química del combustible diésel en movimiento rotacional, el cual se transmite al alternador.

- **Alternador (Generador Eléctrico).** Es la parte que transforma la energía mecánica del motor en corriente alterna (CA). Consiste en un estator (parte fija con bobinas de cobre) y un rotor (parte giratoria con un campo magnético). Al girar el rotor dentro del estator, se induce una corriente eléctrica en las bobinas del estator, generando corriente alterna. Los alternadores pueden ser monofásicos o trifásicos, siendo estos últimos los más comunes para cargas de alta potencia industrial.

- **Sistema de Control y Monitoreo.** Actúa como la "inteligencia" del grupo electrógeno. Es un panel electrónico que monitorea continuamente parámetros críticos del motor (temperatura del refrigerante, presión de aceite, velocidad, nivel de combustible) y del alternador (voltaje, corriente, frecuencia, factor de potencia). Este sistema gestiona el arranque, la parada y la protección del generador, e interactúa con un Sistema de Transferencia Automática (ATS) para la conmutación entre la red principal y el generador en caso de fallas.

- **Sistema de Combustible.** Comprende el tanque de combustible principal, tanques diarios (si aplica), bombas de transferencia, filtros de combustible y las líneas de suministro al motor. El diseño de este sistema debe considerar la autonomía requerida, la seguridad de almacenamiento y la prevención de derrames.

- **Sistema de Enfriamiento.** Indispensable para disipar el calor excesivo generado por el motor durante la combustión y la fricción. Los sistemas de enfriamiento comunes incluyen radiadores (aire/agua), que requieren un flujo considerable de aire para su

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

operación, y circuitos de agua con torres de enfriamiento para sistemas de mayor envergadura. Un diseño de ventilación adecuado en el recinto es crítico para la eficiencia de este sistema.

- **Sistema de escape.** Encargado de evacuar los gases de combustión generados en el motor hacia un punto seguro en el exterior. El diseño de este sistema debe minimizar la contrapresión sobre el motor y garantizar el cumplimiento de normas ambientales. Se incorporan silenciadores industriales y tramos flexibles para evitar vibraciones.

- **Base anti vibratoria.** Elemento esencial para evitar que las vibraciones generadas por el motor y el alternador se transmitan al recinto. Se utilizan soportes de caucho, muelles o estructuras metálicas con amortiguadores diseñados para operar bajo cargas dinámicas.

2.1.2. Parámetros eléctricos clave y dimensionamiento

El correcto dimensionamiento de un grupo electrógeno no solo garantiza su capacidad para abastecer la demanda energética de una instalación, sino que también contribuye a su eficiencia operativa, a la durabilidad de sus componentes y a la confiabilidad del sistema de respaldo. Esta etapa del diseño implica una evaluación detallada de los parámetros eléctricos más relevantes, así como una estimación técnica precisa de las condiciones de carga esperadas en operación normal y de emergencia.

Uno de los primeros aspectos a considerar es la potencia nominal del generador, expresada en kilovoltamperios (kVA) para la potencia aparente y en kilovatios (kW) para la potencia activa. La relación entre ambos parámetros está determinada por el factor de potencia (FP), que en aplicaciones industriales suele asumir un valor estándar de 0,8. Por ejemplo, un generador con una potencia aparente de 800 kVA podrá entregar una potencia activa máxima de 640 kW. Este factor resulta esencial para el diseño, ya que la carga real de una instalación puede estar compuesta por elementos resistivos, inductivos y capacitivos que modifican el comportamiento eléctrico total (IEEE, 2010).

En aplicaciones donde la confiabilidad del suministro es prioritaria, como en el caso de centros de investigación, se suele optar por configuraciones redundantes o en paralelo,

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

como el uso de múltiples generadores de menor capacidad en lugar de uno solo de gran potencia. Esta estrategia, además de permitir repartir la carga, proporciona ventajas como la posibilidad de realizar mantenimientos sin interrumpir el suministro, una mayor eficiencia operativa bajo carga parcial y una mejor adaptabilidad a futuros incrementos en la demanda (ISO, 2018).

El siguiente parámetro a considerar es la tensión nominal de salida, que debe ser compatible con los sistemas eléctricos de la instalación. En el Perú, el sistema trifásico estándar de baja tensión es de 400/230 V a una frecuencia de 50 Hz, conforme al Reglamento Nacional de Instalaciones Eléctricas (Ministerio de Energía y Minas, 2006). En casos donde se requiere alimentar equipos de media tensión, se deben integrar transformadores elevadores, considerando tanto la capacidad como la impedancia para evitar pérdidas o desequilibrios.

Otro aspecto fundamental es la regulación de tensión y frecuencia, ya que las variaciones en estas magnitudes pueden afectar la operación de equipos sensibles, como sistemas de automatización, instrumentación electrónica y equipos de laboratorio. Para ello, los generadores están equipados con reguladores automáticos de voltaje (AVR) y gobernadores electrónicos, que actúan sobre la excitación del alternador y el régimen del motor, respectivamente, para mantener condiciones estables de operación incluso frente a variaciones súbitas de carga (Cummins Power Generation, 2020).

También debe evaluarse la capacidad de sobrecarga del generador, es decir, su habilidad para operar durante cortos períodos por encima de su potencia nominal sin sufrir daños. La norma ISO 8528 establece que los generadores pueden tolerar una sobrecarga del 10% de su capacidad nominal durante una hora cada 12 horas de operación continua, aunque este valor puede variar según el fabricante y la categoría de servicio (ISO, 2018).

Por último, se debe considerar la capacidad del generador para enfrentar condiciones ambientales adversas, tales como altitudes elevadas, temperaturas extremas o humedad. A mayores altitudes, la densidad del aire disminuye, afectando la combustión del motor y la capacidad de enfriamiento del sistema. Esta condición puede exigir una reducción de la potencia nominal del generador, conforme a las curvas de corrección proporcionadas por los fabricantes (Caterpillar, 2019).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En resumen, el dimensionamiento eléctrico de un grupo electrógeno implica mucho más que una simple suma de cargas. Requiere un análisis integral que contemple las condiciones reales de operación, los márgenes de seguridad apropiados, la compatibilidad con la infraestructura existente y las exigencias normativas aplicables. Solo bajo este enfoque técnico riguroso es posible garantizar la confiabilidad y seguridad de todo el sistema de respaldo energético.

2.1.3. Consideraciones de instalación y operación

La instalación y operación eficiente de un grupo electrógeno no se limita a su correcta selección técnica, sino que también exige una planificación cuidadosa del entorno físico, las condiciones ambientales y los elementos auxiliares que lo rodean. Estos factores no solo influyen en el desempeño del equipo, sino que inciden directamente en la seguridad del personal, la facilidad de mantenimiento y la durabilidad del sistema en su conjunto.

Uno de los aspectos más relevantes en la instalación es la disposición espacial del grupo electrógeno dentro del recinto técnico o casa de fuerza. Es fundamental prever el espacio necesario para la ubicación del generador, los tableros eléctricos asociados, los sistemas de combustible, los módulos de control y monitoreo, así como los caminos de acceso para mantenimiento. Se deben respetar las distancias mínimas recomendadas por los fabricantes alrededor del equipo, lo que permitirá realizar tareas de inspección, limpieza, sustitución de piezas o intervención de emergencia sin interferencias físicas ni riesgos para el personal (Caterpillar, 2019).

Asimismo, es imprescindible considerar la ventilación adecuada del recinto, dado que los grupos electrógenos generan una cantidad significativa de calor durante su operación, tanto por las pérdidas térmicas del motor como por la disipación del alternador. Un sistema deficiente de ventilación puede provocar acumulación de calor, disminución de la eficiencia del equipo, activación prematura de protecciones térmicas o incluso fallas catastróficas. Por ello, se recomienda un diseño que permita la entrada de aire fresco para la combustión y el enfriamiento, así como la extracción forzada del aire caliente mediante ventiladores axiales o centrífugos, considerando las cargas térmicas calculadas y la geometría del recinto (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2017).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

El sistema de escape de gases de combustión es otro componente crítico en la instalación. Debe estar diseñado para evacuar los productos de la combustión del motor hacia el exterior de la edificación, minimizando la contrapresión sobre el motor y evitando la acumulación de gases tóxicos. Este sistema está compuesto por tuberías metálicas de acero al carbono o acero inoxidable, juntas flexibles, soportes antivibratorios y silenciadores. En muchos casos, los fabricantes ofrecen silenciadores integrados o adicionales que pueden ser incluidos en el diseño para atenuar el ruido de salida, especialmente en recintos cerrados o zonas con restricciones acústicas (Cummins Power Generation, 2020).

También se debe prestar especial atención a la base de apoyo del grupo electrógeno, la cual debe ser firme, nivelada y capaz de absorber las vibraciones generadas por el motor en funcionamiento. La mayoría de las instalaciones utilizan bases de concreto armado con sistemas de anclaje mecánico, complementadas por soportes anti vibratorios de tipo resorte o elastómero, que protegen tanto al generador como a la estructura circundante de esfuerzos dinámicos.

En cuanto al sistema de combustible, este debe garantizar un suministro constante y seguro. Para ello, se emplean tanques de almacenamiento, líneas de distribución, válvulas de seguridad y filtros. En muchos casos, se incorpora un sistema de doble pared o cubetos de contención para prevenir derrames en caso de fugas, especialmente en espacios cerrados. El diseño del tanque debe contemplar la autonomía deseada del grupo electrógeno, la capacidad de reposición y las normas locales de almacenamiento de combustibles.

El grupo electrógeno también debe contar con sistemas de arranque autónomo y monitoreo en tiempo real, capaces de detectar una caída de tensión en la red principal y activar automáticamente el encendido del motor. Estos sistemas, integrados a través de un controlador electrónico, permiten supervisar en todo momento parámetros como frecuencia, tensión, corriente, presión de aceite, temperatura de refrigerante y niveles de combustible, así como emitir alarmas ante cualquier condición anómala (IEEE, 2010).

Por último, es indispensable establecer un plan de mantenimiento preventivo basado en las recomendaciones del fabricante y en las condiciones particulares del sitio de instalación. Este plan debe incluir tareas rutinarias como el cambio de filtros, verificación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de niveles, inspección del sistema de escape, comprobación del estado de baterías y pruebas periódicas de funcionamiento en carga.

En conjunto, todas estas consideraciones buscan asegurar una operación continua, eficiente y segura del sistema de generación eléctrica, minimizando los riesgos operativos y extendiendo la vida útil de los equipos instalados. El diseño de la instalación debe ser el resultado de una planificación técnica cuidadosa, una lectura detallada de las especificaciones del fabricante y una comprensión integral del entorno donde operará el sistema.

2.2. SISTEMAS DE COMPRESIÓN DE AIRE DE INSTRUMENTACIÓN

En entornos industriales y de automatización, el aire comprimido de instrumentación se utiliza como medio energético y de control para operar válvulas, cilindros neumáticos, actuadores y otros dispositivos que requieren precisión, limpieza y estabilidad en su funcionamiento. La confiabilidad de este suministro es tan crucial como la del sistema eléctrico, ya que una interrupción o degradación en la calidad del aire puede afectar directamente la operación de procesos críticos o dañar componentes sensibles.

El aire comprimido para instrumentación se diferencia del aire comprimido de uso general en que debe cumplir con estrictos criterios de calidad, pureza, presión y estabilidad. Su función no es la de accionar herramientas o equipos de alta demanda, sino la de transmitir señales o activar mecanismos de control delicados, donde incluso pequeñas impurezas o variaciones de presión pueden causar errores de operación, lecturas incorrectas o desgaste prematuro en los componentes (ISA, 2017).

A continuación, se desarrolla el marco teórico necesario para comprender el diseño y funcionamiento de estos sistemas, divididos en sus elementos esenciales.

2.2.1. Principios generales de compresión de aire

Según el Pneumatic Handbook (2021), el proceso de compresión consiste en reducir el volumen del aire ambiental, incrementando su presión. El aire atmosférico se compone principalmente de nitrógeno (78%) y oxígeno (21%), además de una pequeña fracción de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

vapor de agua, dióxido de carbono y partículas contaminantes. Durante la compresión, no solo se incrementa la presión del aire, sino también su temperatura y densidad, lo que obliga a prever mecanismos de enfriamiento y filtrado para mantener la calidad requerida.

Los compresores utilizados en sistemas de instrumentación operan típicamente a presiones de 7 a 10 bar, aunque en muchas aplicaciones el aire se regula posteriormente a niveles mucho más bajos, como 3 o 4 bar, para alimentar con precisión los instrumentos neumáticos. La selección del tipo de compresor y su capacidad dependerá de la demanda total de los instrumentos conectados, del ciclo de trabajo del sistema y del nivel de pureza requerido en el aire entregado.

2.2.2. Tipos de compresores utilizados en instrumentación

Según Atlas Copco (2020), en instalaciones donde la continuidad y calidad del aire son críticas, se suelen emplear compresores de tornillo rotativo lubricados o libres de aceite. Estos compresores funcionan con dos rotores helicoidales que comprimen el aire al reducir su volumen progresivamente a lo largo del eje. Ofrecen operación continua, bajo nivel de pulsaciones y alta eficiencia, siendo ideales para cargas constantes como las de instrumentación.

Otra opción en sistemas pequeños o de respaldo son los compresores alternativos o de pistón, los cuales comprimen el aire mediante un émbolo accionado por un cigüeñal. Aunque su eficiencia volumétrica es alta, su operación suele ser más ruidosa y presenta mayor nivel de vibración, siendo preferibles para aplicaciones intermitentes o de baja demanda.

El uso de compresores exentos de aceite es común en aplicaciones donde se requiere un aire completamente limpio y libre de hidrocarburos, como en laboratorios, procesos farmacéuticos o alimentarios. Aunque su costo inicial es mayor, ofrecen ventajas en cuanto a pureza y menor necesidad de filtrado posterior.

2.2.3. Calidad del aire comprimido y normativas aplicables

La calidad del aire comprimido se define por tres parámetros principales: contenido de partículas sólidas, contenido de humedad (punto de rocío) y contenido de aceite residual.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Para estandarizar estos requisitos, la norma ISO (2010) establece clases de calidad que permiten especificar el nivel requerido para cada aplicación. Por ejemplo, para instrumentación neumática de precisión, se recomienda una clase de aire como 1.2.1, lo que implica:

- Clase 1: Partículas sólidas ≤ 0.1 µm y ≤ 0.1 mg/m³
- Clase 2: Punto de rocío ≤ −40 °C
- Clase 1: Aceite residual total ≤ 0.01 mg/m³

Para alcanzar estos niveles de calidad, se implementan múltiples etapas de tratamiento, que incluyen:

- Filtros coalescentes, para eliminar aerosoles de aceite y agua.
- Secadores de aire, como los secadores por adsorción o refrigeración.
- Filtros de partículas de alta eficiencia, para remover impurezas sólidas.
- Separadores de condensado y purgas automáticas, para eliminar agua acumulada.

Estos elementos se deben disponer en secuencia adecuada y mantener bajo inspección periódica para asegurar su correcto desempeño.

2.2.4. Disposición y Operación del Sistema Neumático

De acuerdo al Pneumatic Handbook (2021), el sistema completo de aire comprimido para instrumentación incluye, además del compresor y el sistema de tratamiento de aire, una red de distribución que debe ser diseñada con criterios de caída de presión mínima, facilidad de mantenimiento y expansión futura.

Los conductos principales suelen ser de acero galvanizado, aluminio o cobre, dependiendo del tipo de instalación. Para minimizar la caída de presión, es esencial mantener velocidades de flujo dentro de límites recomendados (generalmente por debajo de 6 m/s) y evitar trazados con codos innecesarios.

Asimismo, se deben implementar reguladores de presión, válvulas de cierre, purgas automáticas, manómetros y puntos de conexión rápida para los instrumentos. La operación

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

eficiente del sistema requiere también la inclusión de acumuladores de aire (tanques presurizados), que permiten compensar variaciones transitorias en la demanda y mejorar la estabilidad de presión.

El sistema debe contar con mecanismos de seguridad, incluyendo válvulas de alivio, sensores de temperatura, controladores de presión máxima y alarmas de falla. Todos estos elementos deben estar interconectados a sistemas de monitoreo para garantizar una operación segura y confiable, especialmente en recintos cerrados o donde existan restricciones ambientales.

2.3. SISTEMAS DE VENTILACIÓN INDUSTRIAL Y MANEJO DE AIRE

La ventilación adecuada en recintos que albergan equipos electromecánicos de gran capacidad, como generadores y compresores, es un aspecto fundamental del diseño de ingeniería. Su objetivo principal es garantizar la evacuación eficiente del calor generado por los equipos durante su operación, así como mantener un suministro constante de aire fresco para procesos como la combustión y el enfriamiento. En la casa de fuerza del CIIT-UCSM, donde se concentrarán fuentes significativas de generación térmica, el sistema de ventilación y manejo de aire adquiere un rol decisivo en la operatividad, la seguridad y la vida útil de los equipos instalados, según la ASHRAE (2017), se deberían tener las siguientes consideraciones:

En recintos subterráneos, donde no existe ventilación natural efectiva ni intercambio térmico directo con el ambiente exterior, el diseño de la ventilación debe partir de una evaluación técnica rigurosa de las cargas térmicas internas, los requerimientos de aire para combustión, las trayectorias de flujo y la distribución eficiente de los volúmenes de aire.

La falta de un sistema de ventilación correctamente dimensionado puede derivar en temperaturas elevadas en el recinto, reduciendo la eficiencia de los equipos, acelerando el envejecimiento de componentes electrónicos, y provocando disparos térmicos o incluso fallas catastróficas. De igual modo, una deficiencia en el suministro de aire para combustión puede afectar la calidad de la mezcla aire-combustible en los motores, incrementando las emisiones contaminantes y disminuyendo el rendimiento del sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.3.1. Funcionamiento de un sistema de ventilación

Para lograr la ventilación de un recinto cerrado los sistemas de ventilación se sirven de un ciclo de compresión de vapor que funciona mediante un material refrigerante que circula dentro de un circuito cerrado, de tal forma que cuando es comprimido aumenta su temperatura, mientras que si se expande la reduce considerablemente, proporcionando de este modo frío o calor a conveniencia del usuario (AiresDeMadrid, 2019).

La parte exterior del sistema es la unidad de condensación y contiene el compresor y la bobina de condensación. Los ventiladores de esta unidad exterior introducen el aire con el refrigerante previamente presurizado por el compresor, llevándolo hasta la bobina de condensación, donde se enfría y condensa en un líquido. La parte interna del sistema se denomina unidad de control del aire. Hasta ella llega el líquido condensado para ser tratado mediante una válvula reguladora, circulando luego a través de la bobina del evaporador y filtrándose por los conductos de canalización. El refrigerante vuelve luego a la unidad exterior, donde se repite otra vez el proceso (AiresDeMadrid, 2019).

2.3.2. Clasificación de los sistemas de ventilación

Según Soler Palau (2018), los sistemas de ventilación industrial pueden clasificarse desde distintos enfoques, siendo los más comunes aquellos que los diferencian según el método empleado para la ventilación y el tipo de recinto o edificación en el que se aplican. Esta clasificación resulta esencial al momento de seleccionar la estrategia más adecuada para un entorno específico, como es el caso de una casa de fuerza subterránea, donde las condiciones ambientales y los requisitos técnicos difieren significativamente de otras aplicaciones.

Desde el punto de vista del tipo de recinto, los sistemas de ventilación se dividen en tres grandes grupos:

- **Sistemas domésticos:** Diseñados para viviendas unifamiliares o edificios multifamiliares, donde la ventilación se enfoca principalmente en garantizar confort térmico, renovación de aire y eliminación de humedad. Suelen ser de bajo caudal y baja complejidad técnica.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Sistemas terciarios o comerciales:** Aplicados en espacios como oficinas, instituciones educativas, locales comerciales, centros de salud y otras edificaciones de uso público. Estos sistemas requieren mayor capacidad de control sobre la calidad del aire interior, debido a la concentración variable de personas y equipos.

- **Sistemas industriales:** Enfocados en fábricas, plantas de producción, talleres y otras instalaciones técnicas. Están diseñados no solo para garantizar la calidad del aire, sino también para controlar contaminantes específicos del proceso, evacuar calor residual, y cumplir con normativas de seguridad ocupacional.

Por otro lado, según el método utilizado para renovar el aire interior, se distinguen principalmente dos tipos de sistemas:

1) **Sistemas de simple flujo**

Los sistemas de simple flujo son configuraciones básicas en las que se realiza únicamente la extracción del aire viciado hacia el exterior mediante ventiladores. El aire de renovación ingresa al recinto por medios pasivos, como rendijas, aperturas o bocas de admisión naturales, dependiendo de la presión negativa generada por la extracción.

Esta solución, aunque económica y fácil de implementar, presenta importantes limitaciones. La ausencia de control sobre el caudal y la calidad del aire entrante puede generar desequilibrios térmicos, corrientes de aire incómodas o ingreso de contaminantes externos. Además, en edificaciones con alta hermeticidad, como los recintos subterráneos, puede producirse una reducción en la eficiencia de la extracción debido a la resistencia al paso del aire nuevo. Por ello, este tipo de sistema requiere el diseño cuidadoso de aberturas controladas para la entrada de aire, que garanticen una reposición efectiva sin comprometer la seguridad ni el confort.

2) **Sistemas de doble flujo**

Los sistemas de doble flujo representan una solución más avanzada, ya que incorporan tanto ventiladores de extracción como ventiladores de impulsión, permitiendo un control total sobre la ventilación del recinto. Estos sistemas no solo permiten renovar el aire, sino también tratarlo térmica y sanitariamente antes de ingresarlo al ambiente interior. Esto es

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

especialmente relevante en espacios industriales donde se requiere controlar temperaturas, diluir gases contaminantes, o mantener condiciones específicas para equipos sensibles.

Entre los tratamientos más comunes del aire de entrada en los sistemas de doble flujo se encuentran:

- **Filtrado del aire exterior:** Mediante filtros de distintos grados (coarse, fino, HEPA) se elimina polvo, polen, insectos y otras partículas, mejorando la calidad del aire interior. En algunos casos también se filtra el aire extraído para proteger el sistema o reducir contaminantes al ambiente exterior.

- **Calefacción del aire de entrada:** En climas fríos o ambientes con requerimientos térmicos específicos, se acondiciona el aire impulsado utilizando baterías eléctricas, intercambiadores de calor de agua caliente o bombas de calor.

- **Refrigeración del aire de entrada:** Para mantener el confort térmico o evitar sobrecalentamientos en los equipos, el aire impulsado puede ser enfriado mediante baterías de agua fría o sistemas de expansión directa.

- **Recuperación de calor:** Utilizando recuperadores de calor (tipo placas, rotativos o de calor sensible/latente), se transfiere energía térmica del aire extraído al aire de entrada, reduciendo significativamente el consumo energético del sistema.

- **Humidificación o deshumidificación:** En casos especiales, se controla la humedad relativa mediante sistemas de inyección de vapor o deshumidificadores, lo cual es relevante en procesos industriales o laboratorios.

Esta capacidad de tratamiento hace que los sistemas de doble flujo sean particularmente adecuados para instalaciones complejas como casas de fuerza, donde se requiere mantener condiciones térmicas estables, diluir contaminantes, y garantizar la operación eficiente de los equipos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

En resumen, la selección entre sistemas de simple y doble flujo debe considerar no solo los requerimientos de ventilación básicos, sino también la necesidad de controlar la calidad del aire, el consumo energético, y la flexibilidad operativa del sistema en entornos críticos como instalaciones subterráneas con equipos generadores y compresores.

2.3.3. Principios de transferencia de calor y cargas térmicas

El diseño de la ventilación en una casa de fuerza subterránea requiere una visión sistémica que integre los principios de la termodinámica con criterios de eficiencia energética, ingeniería mecánica y seguridad ocupacional. A diferencia de ambientes abiertos, en donde el calor puede disiparse en parte mediante convección natural o pérdidas estructurales, en un espacio cerrado es indispensable calcular de forma precisa la carga térmica que debe ser evacuada, así como el caudal de aire requerido para transportar esa energía hacia el exterior mediante convección forzada.

En este contexto, los principios de transferencia de calor resultan fundamentales para estimar las condiciones térmicas del recinto. Las principales formas de transferencia que ocurren en la casa de fuerza son la convección a través del movimiento de aire generado por ventiladores y la radiación térmica, especialmente desde superficies calientes como carcasas de motores y ductos de escape. La carga térmica total para disipar en el recinto incluye (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2017):

- **Calor sensible disipado por los generadores:** Los fabricantes especifican la cantidad de calor que un generador emite al aire del recinto durante su operación.
- **Calor sensible disipado por los compresores:** Similarmente, los compresores disipan calor significativo que debe ser evacuado.
- **Calor de otros equipos:** Tableros eléctricos, transformadores de control, bombas, etc.
- **Carga solar (si aplica):** Contribución de la radiación solar a la carga térmica interna.
- **Calor por infiltración de aire:** Aire caliente que entra por fugas o aperturas no controladas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

El caudal de aire requerido para disipar esta carga térmica se calcula mediante la fórmula:

$$Q_{Aire} = \frac{\dot{Q}_{Total}}{\rho * C_p * \Delta T}$$

Donde:

- Q_{Aire} = Caudal de aire necesario
- $\dot{Q}_{Total}$ = Carga térmica total generada
- P = Densidad del aire
- C_p = Calor específico del aire a presión constante
- ΔT = Diferencia de temperatura permitida

Esta fórmula permite dimensionar de manera precisa los ventiladores de extracción e inyección, considerando además márgenes de seguridad y la variabilidad operativa de los equipos. Por ejemplo, si la carga térmica estimada en el recinto es de 100 kW, y se establece una diferencia de temperatura admisible de 10 °C, el caudal de aire requerido se aproxima a:

$$Q_{Aire} = \frac{100000\ W}{1 * 2 * 1005 * 10} = 8.3\ m^3/s$$

Este resultado es la base sobre la cual se seleccionarán los ventiladores axiales o centrífugos, los cuales deben ser capaces de mover dicho caudal con una presión estática acorde a las pérdidas de carga del sistema de ductos.

Además, es importante considerar que, en condiciones de operación real, factores como la altitud, humedad relativa, temperatura exterior y posibles obstrucciones pueden modificar los valores efectivos de ρ y C_p , por lo que se recomienda utilizar coeficientes de corrección o software especializado para afinar los cálculos.

2.3.4. Tipos de ventilación

En el diseño de sistemas de ventilación para recintos técnicos, como una casa de fuerza subterránea, la elección del tipo de ventilación es un aspecto crítico que condiciona la eficacia del control térmico, la evacuación de contaminantes y la seguridad operacional. La ventilación no solo se concibe como un mecanismo para renovar el aire, sino como una

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

herramienta integral de gestión del ambiente interior, cuya configuración depende del tipo de recinto, la carga térmica a disipar, la distribución espacial del equipo y los requerimientos normativos.

Los sistemas de ventilación pueden clasificarse de diversas maneras. A continuación, se muestra la clasificación más común que según la ASHRAE (2017), que se distingue entre:

1) **Sistemas de ventilación natural.**

Funcionan mediante la diferencia de presión entre el interior y el exterior, facilitando el ingreso y salida del aire sin equipos mecánicos. Son poco eficientes en espacios subterráneos, debido a la ausencia de diferencias térmicas significativas o de aberturas directas al exterior.

2) **Sistemas de ventilación mecánica (forzada).**

Utilizan ventiladores y otros dispositivos para impulsar y/o extraer el aire. Son los más utilizados en entornos industriales y subterráneos, donde se requiere control preciso del caudal, presión y dirección del flujo de aire. En función del sentido del flujo y su aplicación, los sistemas mecánicos se dividen en:

a) Ventilación por impulsión o inyección

Presenta pocas ventajas respecto a los otros, ya que extraen el aire directamente y lo aportan al interior del recinto, ocasionando sobrepresiones en el sistema y la expulsión del aire viciado por las rampas de acceso y salida, lo que implica que arrastran las emisiones dentro del estacionamiento hacia la calle. Además, la sobrepresión provoca que el aire viciado se expulse por cualquier abertura hacia el exterior: puertas, ventanas y rendijas, las cuales pueden conducirlo hacia el interior del inmueble. Esto imposibilita controlar la descarga de las emisiones y dirigirlas hasta espacios alejados de las personas o elementos de interés en la construcción, como se muestra en la Figura 2.1.

Además, el humo proveniente del incendio de algún equipo se escaparía por sitios inadecuados, como las rampas de acceso y salida como ya se mencionó, provocando problemas para el cuerpo de bomberos y personal de seguridad en el recinto, quienes enfrentarían dificultades para salir o acceder al lugar del siniestro. Este principal problema de control de humo descarta por completo este sistema para un estacionamiento subterráneo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

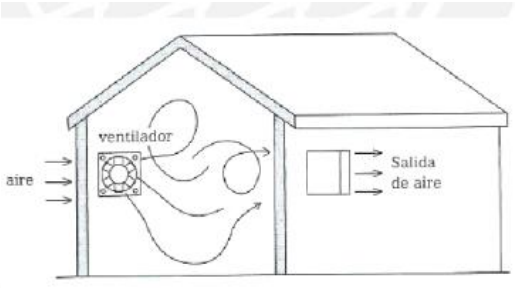
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 2.1

Ventilación por impulsión



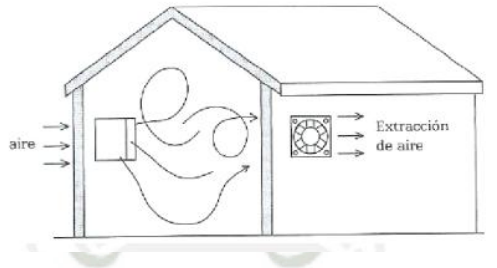
Nota. (ECHEVERRI, 2011)

b) Ventilación por extracción

Es el sistema de ventilación de uso más común. Entre sus ventajas principales, presenta un control adecuado en la descarga de contaminantes y aire viciado a través de conductores que canalizan el aire extraído hasta el lugar adecuado como se muestra en la Figura 2.2.

Figura 2.2

Ventilación por extracción



Nota. (ECHEVERRI, 2011)

c) Sistema mixto (impulsión y extracción)

La óptima distribución del aire en el interior de las instalaciones es una de las grandes características que presenta este tipo de sistemas, ya que permite una adecuada calidad de aire en todos los rincones del inmueble.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La desventaja que presenta el sistema mixto para este tipo de lugares es su costo, ya que, al requerir un caudal de aire para satisfacer las necesidades del sistema de extracción y otro caudal independiente para el sistema de impulsión, exige dos series de conductos autónomos y dos series de sección, debido a que los procesos de impulsión y extracción deben de realizarse en serie, con lo cual se duplica el número de ventiladores requeridos, lo que incrementa el costo de instalación.

2.3.5. Estrategias de flujo de aire específicas para casas de fuerza

A diferencia de espacios convencionales, estos recintos albergan equipos que generan altas cargas térmicas y posibles emisiones de contaminantes, por lo que requieren soluciones de ventilación específicas que aseguren una adecuada refrigeración, control ambiental y protección del personal. A continuación, se describen las principales estrategias de flujo de aire empleadas en este tipo de instalaciones de acuerdo con Pedersen (2006), con énfasis en su aplicación en casas de fuerza subterráneas como la del CIIT-UCSM.

1) **Flujo Dirigido para Enfriamiento de Equipos.** El aire fresco de admisión debe ser dirigido directamente a las tomas de aire de los generadores y compresores para asegurar su refrigeración óptima. El aire caliente de salida de los radiadores debe ser capturado y evacuado directamente al exterior sin recircularse en el recinto.

2) **Ventilación General del Recinto.** Además del aire de refrigeración de los equipos, se necesita un caudal de ventilación general para mantener la temperatura ambiente de la sala dentro de límites aceptables para el personal y los equipos auxiliares.

3) **Dilución de Contaminantes.** En caso de fugas de combustible o gases, un flujo de aire constante asegura la dilución de dichos contaminantes por debajo de niveles peligrosos.

Estas estrategias se complementan con la automatización del sistema de ventilación, mediante sensores de temperatura, presión y niveles de gases, que permiten ajustar la velocidad de los ventiladores según la demanda térmica del recinto.

En casas de fuerza subterráneas como la del CIIT-UCSM, el sistema óptimo es una combinación de ventilación mecánica mixta, con flujos dirigidos y control automatizado. Se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

instalan ventiladores axiales o centrífugos con variadores de frecuencia (VFD), rejillas de entrada con filtros primarios y extractores posicionados cerca de las fuentes térmicas. Este diseño asegura una evacuación eficiente del calor y gases, minimiza zonas de acumulación y optimiza el consumo energético al adaptarse a las condiciones reales de operación.

Además, muchos de estos sistemas pueden ser diseñados para funcionar de forma redundante o con respaldo, garantizando su operación incluso ante la falla de uno de los componentes.

2.3.6. Componentes de un sistema de ventilación

Un sistema de ventilación eficiente en instalaciones industriales como una casa de fuerza subterránea requiere la correcta integración de diversos componentes que actúan de forma sinérgica para garantizar el adecuado movimiento, filtrado, distribución y control del aire. Estos elementos deben seleccionarse y dimensionarse con base en cálculos técnicos rigurosos, considerando las condiciones particulares del recinto, la carga térmica generada por los equipos, los requerimientos de calidad del aire y los lineamientos normativos aplicables. A continuación, se describen los principales componentes que conforman un sistema de ventilación industrial según ECHEVERRI (2011):

1) Ventiladores

Para mover el aire en un sistema de ventilación o extracción, se requiere de energía para superar las pérdidas de presión del sistema. Esta energía puede darse por convección natural o empuje. Sin embargo, la mayoría de los sistemas requieren un dispositivo para el movimiento de aire como son los ventiladores. El funcionamiento de los ventiladores se basa en el suministro de energía mecánica al aire a través de un rotor que gira a alta velocidad, incrementando la energía cinética del aire, que luego se transforma parcialmente en presión estática. Se suelen dividir básicamente en dos grandes grupos: ventiladores axiales y ventiladores centrífugos.

a) Ventiladores axiales

Los ventiladores axiales transmiten la energía al aire por medio de un movimiento de giro en remolino provocado por el rotor. El movimiento del aire a través del rotor se realiza conservando la dirección del eje de éste. Poseen una eficiencia mecánica alta, siendo capaces

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de llegar hasta el 95%, sin embargo, no pueden vencer caídas de presión muy elevadas. Debido a esto, la principal aplicación de éstos se encuentra en el campo de la ventilación general y funcionan como extractores o inyectores de aire. Existen tres clases de ventiladores axiales:

- **Ventiladores axiales con aletas guía o vaneaxial.** Incorpora aletas de salida de aire aumentando la eficacia del ventilador. Sus aplicaciones incluyen sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado en baja, media o alta presión. Sin embargo, generan niveles de ruido mayores a los de los ventiladores centrífugos.

- **Ventiladores turboaxiales.** No posee aletas guía de salida por lo que su eficacia es menor. Sin embargo, su costo es también menor debido a su sencilla fabricación. También se utiliza en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado a presiones bajas, medias y altas. Se caracteriza por el pequeño diámetro de eje y suele utilizarse para altos caudales de aire a baja presión. Sin embargo, su nivel de ruido es mayor que el de aletas guía.

- **Ventiladores helicoidales.** Son utilizados en instalaciones a presiones muy bajas, funcionando con impulsión casi nula, pero con grandes caudales de aire. Su principal campo de aplicación es la ventilación por evacuación en techos, circulación de aire y torres de refrigeración. Se instalan en compartimentos aislados no conectados al sistema de conductos.

b) Ventiladores centrífugos

Son turbomáquinas en los cuales el aire ingresa al rotor generalmente con una trayectoria axial y sale en dirección perpendicular. El rotor posee álabes adheridos al mismo por los cuales circula en aire hacia afuera a causa de la “fuerza centrífuga”, abandonando el rotor con una velocidad mayor a la de entrada. La energía recibida por el aire proviene del momento ejercido por el eje giratorio acoplado a un motor El rendimiento mecánico de un ventilador centrífugo varía entre el 45 y 84% debido a la presencia de remolinos y choques causados por el cambio de dirección del aire.

Su principal clasificación se basa en el ángulo de los álabes del rotor, debido a que determinan la característica de la velocidad de giro. La presión generada por un ventilador

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

es función del movimiento o velocidad frontal del aire en la punta de la aleta. Por ello, se pueden mencionar los siguientes tipos de rotores:

- **Con álabes curvados hacia atrás.** Los álabes se encuentran inclinados en dirección opuesta al giro del rotor. Se utilizan comúnmente para altas velocidades de trabajo a baja potencia, generando altas eficiencias y bajos niveles de ruido. Sus aplicaciones comunes son para sistemas generales de calefacción, ventilación y aire acondicionado que requieren desde bajas hasta altas presiones estáticas.

- **Con álabes radiales.** Son utilizados para la mayoría de los sistemas de extracción cuando las partículas atraviesan el ventilador. Se diseñan con álabes anchos de poco espesor para trabajos a baja presión con altos caudales. Sin embargo, para aplicaciones de alta presión y bajos caudales se utilizan álabes estrechos y profundos. Existen rotores con álabes cuyo diámetro interior del filo posee un leve ángulo de inclinación en el sentido de rotación. Este tipo de álabes se les conoce como radiales modificados. Se utilizan es sistemas industriales de alta presión debido a la forma del álabe. Asimismo, se emplean en condiciones de alta posibilidad de corrosión y erosión.

- **Con álabes curvados hacia adelante.** Poseen sus álabes inclinados en la dirección de rotación. Requieren poco espacio y bajas velocidades en la punta del álabe. Son normalmente diseñados para trabajos de baja a media presión como son los sistemas de calefacción y aire acondicionado. No son recomendados para ambientes con partículas que puedan adherirse a los álabes.

c) Ductos

Los ductos son los conductos a través de los cuales se transporta el aire desde los ventiladores hasta los puntos de entrega o desde los puntos de extracción hacia el exterior. Su diseño debe asegurar una distribución uniforme del aire y minimizar las pérdidas de presión. Los principales aspectos técnicos a considerar en el diseño de ductos son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Material**. Acero galvanizado para aire ambiente, acero negro para gases calientes, o incluso acero inoxidable en ambientes corrosivos.
- **Dimensiones y forma.** Se dimensionan según el caudal y la velocidad del aire. Se prefieren secciones circulares por su menor pérdida de carga, aunque en instalaciones con restricciones de espacio, se usan ductos rectangulares.
- **Pérdidas por fricción y accesorios.** Se deben minimizar mediante trazados rectos, radios amplios en codos y la menor cantidad de cambios de dirección posible. Las pérdidas de presión se estiman utilizando el método de pérdida por fricción (ASHRAE, 2009).
- **Aislación.** En casos de aire caliente o para evitar condensación, se recubren con materiales térmicos y acústicos.

d) Rejillas, difusores y louvers

Las rejillas y difusores son los elementos terminales encargados de distribuir o recoger el aire en los espacios interiores. Deben seleccionarse en función del tipo de flujo deseado (difuso, laminar, direccional), el caudal a manejar y las características del recinto.

Los louvers (o persianas de admisión) se ubican en aperturas hacia el exterior para permitir la entrada o salida de aire, al tiempo que impiden la infiltración de agua de lluvia, residuos u objetos extraños. Se diseñan con lamas inclinadas y se seleccionan considerando el área libre efectiva para evitar obstrucciones y caídas de presión elevadas.

e) Dampers (compuertas)

Las compuertas o dampers son dispositivos que regulan, desvían o interrumpen el flujo de aire en los sistemas de ventilación. Pueden ser manuales, motorizadas o automáticas, y se clasifican según su función:

- **Compuertas de regulación:** Permiten ajustar el caudal de aire en una rama del sistema.
- **Compuertas de aislamiento:** Aíslan tramos del sistema durante el mantenimiento o en situaciones de emergencia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Compuertas cortafuego o de retorno:** Usadas para seguridad contra incendios o retroflujo no deseado (aunque este último punto no aplica al alcance de este trabajo, su presencia en sistemas industriales es común).

f) Filtros de aire

Los filtros se ubican generalmente en las tomas de aire para impedir el ingreso de polvo, insectos y partículas al sistema. La selección del filtro se hace según:

- El nivel de pureza del aire requerido.
- Las condiciones del aire exterior.
- La frecuencia de mantenimiento permitida.

Para recintos industriales, suelen emplearse filtros metálicos lavables, filtros plisados o de carbón activado si se requiere retención de olores o compuestos orgánicos volátiles.

g) Silenciadores

Los sistemas de ventilación pueden generar ruido mecánico (por el motor del ventilador) o aerodinámico (por el paso del aire). Para reducir el impacto acústico, especialmente en zonas sensibles o adyacentes a recintos ocupados, se incorporan silenciadores en las secciones de impulsión y extracción. Estos dispositivos están diseñados con materiales porosos o cámaras de expansión que atenúan el sonido sin afectar significativamente el flujo de aire.

h) Variadores de frecuencia (VFD)

Aunque no forman parte del sistema mecánico directamente, los variadores de frecuencia son esenciales para la regulación inteligente del sistema. Permiten ajustar la velocidad de los ventiladores en función de sensores de temperatura, presión o concentración de gases, optimizando así el consumo energético y adaptando el sistema a la carga térmica real.

2.4. SISTEMAS DE ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN

En instalaciones donde operan generadores eléctricos a base de combustibles fósiles, el sistema de evacuación de gases de combustión es un componente crítico tanto para el funcionamiento eficiente de los motores como para la seguridad operativa y el cumplimiento

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

de estándares ambientales. La correcta conducción y descarga de los gases generados durante la combustión interna evita acumulaciones peligrosas, sobrepresiones, corrosión en componentes metálicos, impactos térmicos en el entorno y emisiones por encima de los límites normativos.

En el caso del recinto subterráneo de la casa de fuerza del CIIT-UCSM, donde operarán grupos electrógenos, el diseño del sistema de escape de gases debe atender con rigurosidad las condiciones particulares del proyecto, incluyendo el volumen de emisiones, la temperatura de descarga, las restricciones espaciales del entorno confinado y la necesidad de disipar el calor sin comprometer la integridad estructural ni la calidad del aire interior.

2.4.1. Composición y riesgos de los gases de escape

Durante el funcionamiento de un generador eléctrico diésel, la energía química contenida en el combustible es transformada mediante combustión interna en energía mecánica útil y calor. Parte significativa de ese calor es expulsado al ambiente a través del sistema de escape en forma de gases calientes, los cuales deben ser gestionados de manera técnica y controlada. Estos gases alcanzan temperaturas que fluctúan entre los 350 °C y los 550 °C a la salida del colector del motor, dependiendo del régimen de carga y la eficiencia térmica del motor (Kosow, 2007).

Los gases de combustión de los motores diésel son una mezcla compleja que incluye (OBERT, 1973):

- **Dióxido de Carbono (CO2):** Producto principal de la combustión completa.
- **Monóxido de Carbono (CO):** Gas incoloro, inodoro y altamente tóxico, subproducto de la combustión incompleta. La Tabla 1: Constituyentes típicos de los gases de combustión (de tu tesis original, que deberías incluir o referenciar aquí) ilustra la presencia de CO y otros gases.
- **Óxidos de Nitrógeno (NOx):** Contribuyen a la formación de smog y lluvia ácida.
- **Material Particulado (PM):** Partículas sólidas finas.
- **Dióxido de Azufre (SO2):** Producido por la combustión de azufre presente en el combustible.
- **Hidrocarburos Inquemados (HC):** Compuestos orgánicos volátiles.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

´

La acumulación de estos gases dentro de un recinto cerrado es extremadamente peligrosa. El monitoreo y control de su concentración (especialmente el CO, como mencionas en tu punto 2.4 original "CONTROL POR NIVEL DE MONÓXIDO DE CARBONO", que puede integrarse aquí como una subsección de "Monitoreo y Control de Emisiones") es crucial para activar sistemas de ventilación o alarmas, garantizando la seguridad.

2.4.2. Control por nivel de monóxido de carbono

Independientemente del tipo de ventilación, el sistema a utilizar debe respetar estándares de contaminantes aceptables en el aire. Es por ello que el flujo de aire de ventilación debe ser variado respecto al nivel de monóxido de carbono en el local para ahorrar energía, si se tratara d un estacionamiento con múltiples niveles es preferible un control individual.

En la Figura 2.3 se observa los niveles máximos de monóxido de carbono en un estacionamiento según un ensayo realizado por Krarti (1998), para tres perfiles de movimiento (Figura 2.4) y los siguientes controles de ventilación:

- Volumen constante (CV). El sistema trabaja durante todo el periodo de ocupación.
- Control On/Off. Los ventiladores se prenden y apagan dependiendo de la señal emitida por los sensores de nivel de monóxido de carbono.
- Control de volumen de aire variable (VAV). Se utilizan ventiladores de dos velocidades o ventiladores axiales con álabes de inclinación variable basados en la señal de los detectores de monóxido de carbono.

Asimismo, la Figura 2.3 muestra los ahorros de energía en los ventiladores obtenidos por sistemas de control On/Off y control de volumen de aire variable. Se puede lograr un ahorro significativo de energía utilizando un sistema de ventilación controlado por los niveles de monóxido de carbono para su operación, manteniendo la concentración de monóxido de carbono por debajo de los niveles permisibles.

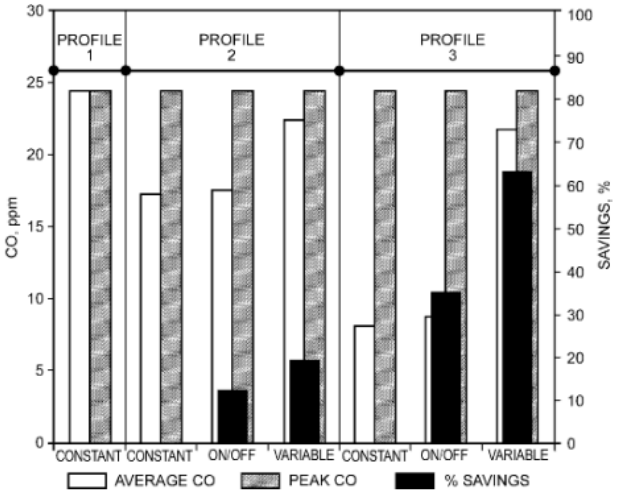
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 2.3

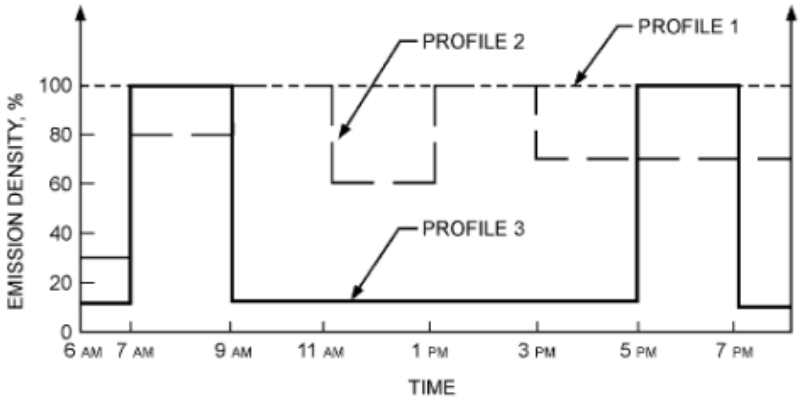
Ahorro de energía y nivel máximo de CO obtenido por sistemas de ventilación controlado por el nivel de CO



Nota. Extraído de (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2017)

Figura 2.4

Perfiles de movimiento de tres vehículos analizados



Nota. Extraído de (AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING, 2017)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.4.3. Diseño de chimeneas y ductos de escape

El sistema de escape tiene la función de evacuar los gases desde el motor hasta la atmósfera exterior de forma segura y eficiente, minimizando la contrapresión sobre el motor, según la ASHRAE (2017), se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- **Ruta y Longitud:** El diseño de la ruta de la tubería de escape debe ser lo más corta y directa posible.
- **Diámetro de la Tubería:** Se calcula para asegurar un flujo adecuado de gases sin generar una contrapresión excesiva que pueda afectar el rendimiento del motor.
- **Materiales:** Las tuberías deben ser de materiales resistentes a las altas temperaturas (hasta 600°C) y a la corrosión. Es fundamental un aislamiento térmico adecuado.
- **Juntas de Expansión:** Se utilizan para absorber la expansión térmica y las vibraciones del sistema de escape.
- **Chimenea/Conducto Vertical:** La descarga final debe estar ubicada a una altura que garantice una dispersión adecuada de los gases, minimizando su impacto en zonas adyacentes. Las regulaciones locales y normativas como la Norma Técnica E.050 - Instalaciones Sanitarias del RNE (Ministerio de Vivienda, 2006) pueden proporcionar pautas.

ASHRAE propone un método general de diseño de sistema de ductos para aplicaciones de calefacción, ventilación y aire acondicionado. Para el sistema de ventilación seleccionado, se puede adaptar el método de la siguiente manera:

- Estudiar los planos de arquitectura y ubicar los puntos de extracción de aire para una adecuada distribución en el espacio.
- Seleccionar las rejillas de extracción de aire de acuerdo a la información del fabricante.
- Realizar un esbozo del sistema de ductos, conectando salidas de aire con los ventiladores.
- Dividir el sistema en secciones y enumerar cada sección.
- Dimensionar los ductos con el método seleccionado.
- Calcular la caída de presión del sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Seleccionar el ventilador si fuese necesario.
- Dibujar el sistema a detalle. De ser necesario, recalcular las caídas de presión y volver a seleccionar el ventilador

2.4.4. Silenciadores (mufflers)

Los silenciadores son componentes esenciales del sistema de escape de los generadores, diseñados para reducir el ruido generado por la expulsión de los gases de combustión, según la ASHRAE (2017) se debe considerar:

- **Principios de Reducción de Ruido.** Los silenciadores pueden ser reactivos (por reflexión de ondas), absorbentes (por materiales porosos) o combinados.
- **Selección.** La elección del silenciador depende del nivel de atenuación de ruido requerido (ej. de uso residencial, crítico, o supercrítico), la contrapresión máxima permitida por el motor, el flujo de gases y el espacio disponible. Deben ser aislados térmicamente.

2.5. PRINCIPIOS DE INSONORIZACIÓN Y CONTROL DE RUIDO

El ruido es una forma de energía no deseada que se propaga como ondas sonoras a través de medios materiales, principalmente el aire, y que puede generar diversos efectos adversos tanto sobre las personas como sobre los equipos y las estructuras. En entornos industriales como una casa de fuerza subterránea, donde operan continuamente generadores eléctricos, compresores de aire y sistemas de ventilación, el ruido constituye un factor de riesgo significativo, que puede afectar la salud ocupacional, la comunicación entre operadores, la precisión de algunos sistemas de control, y la percepción ambiental en áreas aledañas (Beranek, 2006).

Por ello, el control del ruido es un componente técnico indispensable en el diseño de sistemas mecánicos e instalaciones industriales. A través de principios acústicos y estrategias de mitigación adaptadas a cada fuente y trayectoria de propagación, es posible garantizar que los niveles de presión sonora se mantengan dentro de límites aceptables definidos por normativas nacionales e internacionales.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2.5.1. Fuentes y características del ruido en casas de fuerza

En una casa de fuerza, el ruido proviene de múltiples fuentes. Según la ISO 1996-1 (2017), las más significativas son los generadores eléctricos, especialmente el conjunto motor-diésel y su sistema de escape, los radiadores, los compresores de aire, y los ventiladores del sistema de ventilación. Cada uno de estos equipos produce distintos tipos de ruido según su modo de operación:

- **Ruido mecánico:** Generado por el contacto entre componentes móviles como válvulas, engranajes, pistones y correas.
- **Ruido aerodinámico:** Producido por el flujo turbulento del aire a través de ventiladores, ductos, rejillas y válvulas.
- **Ruido estructural:** Resultado de vibraciones inducidas en elementos estructurales por el funcionamiento de maquinaria pesada.
- **Ruido del escape:** Alta presión sonora asociada a la expulsión de gases a gran velocidad y temperatura desde los motores.

Este ruido se caracteriza cuantitativamente por su nivel de presión sonora (medido en decibelios, dB(A)) y cualitativamente por su espectro de frecuencia, que puede ir desde sonidos graves (20 Hz) hasta agudos (20.000 Hz), siendo los de baja frecuencia especialmente difíciles de mitigar.

2.5.2. Fundamentos de acústica y medición del ruido

La acústica industrial proporciona los fundamentos científicos y técnicos para el análisis y control del ruido. En este contexto, los conceptos más relevantes de acurdo con la ISO 1996-1 (2017), incluyen:

- **Nivel de presión sonora (SPL):** Medida logarítmica del nivel de presión acústica, expresada en decibelios. Es la medida más utilizada para evaluar la exposición sonora en ambientes laborales.
- **Nivel de potencia sonora (SWL):** Representa la cantidad total de energía acústica generada por una fuente por unidad de tiempo. Permite comparar diferentes equipos independientemente de su entorno de instalación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- **Tiempo de reverberación (RT60):** Intervalo que tarda el sonido en disminuir 60 dB luego de cesar la fuente sonora. En salas técnicas, un alto RT60 puede afectar la inteligibilidad del habla y amplificar niveles de ruido.
- **Coeficiente de absorción acústica (α):** Capacidad de un material para absorber energía sonora en vez de reflejarla.

La medición del ruido se realiza mediante sonómetros normalizados, capaces de captar y registrar los niveles de presión sonora ponderados A (curva de respuesta que imita la sensibilidad del oído humano). La normativa ISO mencionada y su versión nacional adaptada, establecen los procedimientos y condiciones estándar para estas mediciones, diferenciando entre mediciones continuas, puntuales o de eventos sonoros específicos.

2.5.3. Estrategias de control de ruido y aislamiento de vibraciones

El control del ruido se basa en el principio de atacar el problema en la fuente, en la trayectoria de propagación y en el receptor, y según la norma OSHA (2006), estos son los puntos que se deben tomar en consideración:

a) ***Control en la fuente:*** Selección de equipos menos ruidosos, mantenimiento adecuado y encapsulamientos acústicos.

b) Control en la trayectoria:

- **Aislamiento Acústico:** Construcción de paredes, techos y puertas con materiales de alta densidad y masa (concreto, múltiples capas de paneles de yeso con cámara de aire) para evitar la transmisión del ruido al exterior. El coeficiente de transmisión sonora (STC) indica la capacidad de una barrera para bloquear el sonido aéreo.
- **Absorción Acústica:** Recubrimiento de superficies internas con materiales porosos (paneles de lana mineral, fibra de vidrio) para reducir la reverberación dentro de la sala.
- **Silenciadores:** En sistemas de escape y ventilación para reducir el ruido aerodinámico.
- **Diseño de Rutas de Flujo de Aire:** Minimizar la turbulencia en ductos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

c) ***Aislamiento de vibraciones:*** Para evitar que las vibraciones de equipos se transmitan a la estructura.

- **Bases Antivibratorias:** Utilización de elementos elásticos (resortes, amortiguadores) bajo los equipos pesados para desacoplarlos de la cimentación (ISO 10816-1, 1995).
- **Juntas Flexibles:** Uso en tuberías y ductos conectados a equipos vibratorios.

2.5.4. Materiales y soluciones acústicas

La selección de materiales adecuados es clave para lograr una insonorización eficaz en la casa de fuerza. Los principales componentes acústicos según la norma OSHA (2006) son:

- **Materiales de alta densidad:** El concreto reforzado, ladrillo sólido y bloques de yeso de múltiples capas proporcionan una excelente barrera al sonido gracias a su masa elevada.
- **Paneles acústicos absorbentes:** Se instalan sobre muros y techos. Fabricados con lana mineral, fibra de vidrio o espumas acústicas, estos materiales tienen altas capacidades de absorción, especialmente en frecuencias medias y altas.
- **Puertas y ventanas acústicas:** Con múltiples capas, sellos perimetrales y núcleos densos, impiden la fuga de sonido entre ambientes.
- **Atenuadores de ruido:** Estructuras colocadas en los ductos de ventilación que incorporan superficies absorbentes, permitiendo el paso del aire con mínima resistencia y máxima reducción sonora.

En muchos casos, los fabricantes de generadores eléctricos y ventiladores industriales ofrecen versiones con encapsulamientos acústicos o silenciadores integrados, lo cual constituye una ventaja significativa al momento de hacer la selección técnica de los equipos, evitando soluciones adicionales costosas o complejas.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO III

DEFINICIÓN Y UBICACIÓN DE EQUIPOS DENTRO DE LA CASA DE FUERZA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3. DEFINICIÓN Y UBICACIÓN DE EQUIPOS DENTRO DE LA CASA DE FUERZA

3.1. RECOPILACIÓN DE DATA TÉCNICA PARA EQUIPOS REQUERIDOS EN EL RECINTO

La planificación adecuada de una casa de fuerza requiere una cuidadosa selección y análisis técnico de los equipos que serán instalados, de acuerdo con las necesidades operativas del CIIT de la UCSM. En esta etapa, se recopilaron las especificaciones técnicas fundamentales de los equipos críticos mediante una colaboración directa con el equipo técnico de la UCSM, quienes proporcionaron las características operativas necesarias para cada uno de los sistemas que conforman la instalación.

Esta información técnica sirvió como base para determinar las dimensiones, requisitos de operación y condiciones de instalación de cada equipo, permitiendo seleccionar adecuadamente los modelos comerciales disponibles y planificar su correcta disposición dentro del recinto subterráneo. La elección de proveedores fue realizada considerando tanto la confiabilidad de sus productos como la compatibilidad con los requerimientos funcionales del centro.

Entre los principales equipos incluidos en esta recopilación destacan: los generadores eléctricos de respaldo, los compresores de aire para laboratorios, sistemas complementarios, y elementos de evacuación de gases de combustión. Cada uno de ellos presenta requerimientos específicos de espacio, accesibilidad, conectividad y mantenimiento, los cuales fueron considerados en el modelado tridimensional del recinto y en la posterior evaluación de las distintas configuraciones posibles de distribución interna.

3.2. SELECCIÓN Y DIMENSIONAMIENTO DE LOS GENERADORES ELÉCTRICOS

La generación eléctrica auxiliar constituye uno de los pilares funcionales de la casa de fuerza. En instalaciones de alta criticidad como el CIIT, donde se desarrollarán actividades de investigación científica, experimentación tecnológica y operación de laboratorios sensibles, la continuidad del suministro eléctrico debe estar asegurada en todo momento. En

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

consecuencia, la elección y dimensionamiento de los generadores responde a criterios de autonomía energética, redundancia operativa, escalabilidad y eficiencia.

El objetivo fundamental fue dotar al recinto de un sistema capaz de suministrar energía a todo el complejo en caso de corte del suministro externo, sin comprometer el funcionamiento de los equipos de laboratorio ni el desarrollo de procesos que puedan verse afectados por interrupciones eléctricas. Esto implicó no solo cubrir la demanda máxima estimada, sino también prever escenarios de mantenimiento programado o fallas parciales, mediante una configuración que incorpore respaldo redundante y capacidad de maniobra.

La evaluación integral de la demanda energética se realizó sobre la base de datos suministrados por el equipo de ingeniería eléctrica de la UCSM, plasmados en cuadros de carga detallados. Esta información sirvió como insumo para definir la potencia nominal requerida, determinar la cantidad óptima de generadores y especificar las condiciones de operación bajo distintos escenarios de carga.

3.2.1. Análisis de la demanda eléctrica del CIIT-UCSM

Para determinar la capacidad requerida de los generadores, se llevó a cabo un exhaustivo análisis de la demanda eléctrica proyectada para todas las áreas del CIIT, tomando como base los cuadros de carga detallados en el documento "CUADROS DE CARGA SISTEMA ELÉCTRICO UNIVERSIDAD CIIT - UCSM" (referencia: IE-EL02-CIIT-VRINV-MC-0-2025.pdf). Este análisis consolidó las cargas conectadas y aplicó factores de demanda para estimar la demanda simultánea máxima.

La demanda total estimada del CIIT se consolidó a partir de dos áreas principales que se alimentan de transformadores dedicados:

- **Demanda Estimada del Área de Ciencia:** A partir del panel "TGA_TRANSF_CIENCIA", la demanda eléctrica estimada asciende a 1101.56 kVA. Esta área agrupa las cargas de laboratorios especializados, equipos de investigación de alta tecnología, sistemas de climatización para áreas críticas, iluminación y tomas de uso general, derivando en el cuadro de cargas mostrado en la Tabla 2, a continuación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 3.1

Demanda Estimada del Área de Ciencia

Branch Panel: TGA_TRANSF_CIENCIA

Location: | **Volts:** 220/380 Wye | **A.I.C. Rating:**
Supply From: | **Phases:** 3 | **Mains Type:**
Mounting: | **Wires:** 4 | **Mains Rating:** 2000.00 A
Enclosure: | **MCB Rating:** 2000.00 A

Notes:

CKT	Circuit Description	Trip	Poles	A		B		C		Poles	Trip	Circuit Description	CKT
1	TGR_CIENCIA_S1	20.00 A	3	138.3...	98.61 A					3	20.00 A	TGN_CIENCIA_S1	2
3	--	--	--			79.36 A	89.61 A			--	--	--	4
5	--	--	--					86.21 A	74.45 A	--	--	--	6
7	TGL_CIENCIA_S1	20.00 A	3	1047....	43.36 A					3	20.00 A	TGI_CIENCIAS_S1	8
9	--	--	--			971.1...	60.95 A			--	--	--	10
11	--	--	--					1085....	123.4...	--	--	--	12
13	TGE_CIENCIAS_S1	20.00 A	3	1313....									14
15	--	--	--			1307....							16
17	--	--	--					1304....					18
			Total Load:	561.48 kVA		535.46 kVA		571.08 kVA					
			Total Amps:	2570.83 A		2433.93 A		2614.47 A					

Legend:

Load Classification	Connected Load	Demand Factor	Estimated Demand	Panel Totals	
HVAC	863.31 kVA	72.00%	621.58 kVA		
Lighting	42.17 kVA	53.56%	22.59 kVA	Total Conn. Load:	1667.97 kVA
Toma de corriente	522.19 kVA	60.00%	313.32 kVA	Total Est. Demand:	1101.56 kVA
Otro	0.00 kVA	0.00%	0.00 kVA	Total Conn.:	2534.22 A
Iluminación	6.35 kVA	73.62%	4.68 kVA	Total Est. Demand:	1673.64 A
Toma de laboratorio	277.20 kVA	60.00%	166.32 kVA		
Cabina Extracción	2.32 kVA	100.00%	2.32 kVA		

Nota. Extraído de (Universidad Católica de Santa María, 2025)

- **Demanda Estimada del Área de Tecnología:** Proveniente del panel "TGA_TRANSF_TECNOLOGIA", la demanda eléctrica estimada es de 454.73 kVA. Esta sección incluye cargas asociadas a talleres, equipos de prototipado, sistemas de control, así como la infraestructura eléctrica general para el funcionamiento de esta ala, derivando en el cuadro de cargas mostrado en la Tabla 3, a continuación.

Tabla 3.2

Demanda Estimada del Área de Tecnología

Branch Panel: TGA_TRANSF_TECNOLOGIA

Location: | **Volts:** 220/380 Wye | **A.I.C. Rating:**
Supply From: | **Phases:** 3 | **Mains Type:**
Mounting: | **Wires:** 4 | **Mains Rating:** 1000.00 A
Enclosure: | **MCB Rating:** 1000.00 A

Notes:

CKT	Circuit Description	Trip	Poles	A		B		C		Poles	Trip	Circuit Description	CKT
1	TGR_TECNOLOGIA_S1	20.00 A	3	128.8...	150.0...					3	20.00 A	TGN_TECNOLOGIA_S1	2
3	--	--	--			128.3...	322.5...			--	--	--	4
5	--	--	--					130.4...	141.5...	--	--	--	6
7	TGE_TECNOLOGIA_S1	20.00 A	3	527.1...	36.60 A					3	20.00 A	TGI_TECNOLOGIA_S1	8
9	--	--	--			523.0...	67.30 A			--	--	--	10
11	--	--	--					515.1...	58.83 A	--	--	--	12
13													14
15													16
17													18
			Total Load:	177.76 kVA		219.71 kVA		180.03 kVA					
			Total Amps:	808.02 A		1000.32 A		819.97 A					

Legend:

Load Classification	Connected Load	Demand Factor	Estimated Demand	Panel Totals	
HVAC	93.90 kVA	72.00%	67.61 kVA		
Lighting	32.45 kVA	54.62%	17.73 kVA	Total Conn. Load:	577.28 kVA
Toma de corriente	209.81 kVA	60.00%	125.89 kVA	Total Est. Demand:	454.73 kVA
Iluminación	1.20 kVA	100.00%	1.20 kVA	Total Conn.:	877.09 A
HYS	250.38 kVA	100.00%	250.38 kVA	Total Est. Demand:	690.89 A
Toma de laboratorio	10.05 kVA	60.00%	6.03 kVA		

Notes:

Nota. Extraído de (Universidad Católica de Santa María, 2025)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La demanda eléctrica total estimada consolidada para el CIIT-UCSM resulta de la suma de estas dos principales áreas:

Demanda Total Estimada = 1101.56 kVA + 454.73 kVA = 1556.29 kVA

Este valor representa la carga máxima simultánea esperada que el sistema de generación auxiliar deberá ser capaz de suministrar.

3.2.2. Justificación del dimensionamiento de los generadores eléctricos

Considerando la demanda eléctrica total estimada de 1556.29 kVA y la naturaleza crítica de las operaciones que se llevarán a cabo en el Centro de Investigación e Innovación Tecnológica, se ha determinado la instalación de tres (3) generadores eléctricos diésel, cada uno con una potencia nominal de 800 kVA. Esto resulta en una capacidad de generación instalada total de 2400 kVA.

La selección de esta configuración se fundamenta en los siguientes criterios técnicos y operativos clave:

- **Alta Fiabilidad y Redundancia (Configuración N+1):** La configuración adoptada excede significativamente la demanda máxima requerida, permitiendo operar la carga total del CIIT con solo dos de los tres generadores. La capacidad combinada de dos generadores (2 x 800 kVA = 1600 kVA) es suficiente para cubrir la demanda máxima de 1556.29 kVA, operando a aproximadamente el 97.27% de su capacidad nominal. La presencia de un tercer generador (N+1) proporciona un nivel de redundancia esencial, asegurando la continuidad del suministro eléctrico incluso en caso de falla, mantenimiento programado o cualquier eventualidad que deje fuera de servicio a una de las unidades. Esto es crítico para evitar interrupciones en investigaciones, experimentos y el funcionamiento de equipos sensibles que no pueden permitirse paradas.

- **Manejo de Cargas Inductivas y Factor de Potencia:** El dimensionamiento en kilovoltamperios (kVA) es apropiado para el tipo de cargas presentes en el CIIT, que incluyen motores eléctricos, equipos HVAC y de laboratorio, los cuales suelen tener

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

un factor de potencia inferior a la unidad. Al sobredimensionar en kVA, se garantiza que los generadores puedan suministrar tanto la potencia activa (kW) como la potencia reactiva (kVAR) que el sistema demandará, manteniendo la estabilidad de la tensión.

- **Margen para Crecimiento Futuro:** La capacidad instalada de 2400 kVA ofrece un margen considerable para la expansión futura de las instalaciones del CIIT y la incorporación de nuevos equipos o laboratorios sin necesidad de adquirir e instalar generadores adicionales en el futuro cercano. Esto representa una inversión a largo plazo y una flexibilidad operativa.

- **Eficiencia Operativa y Vida Útil del Equipo:** La posibilidad de distribuir la carga entre múltiples generadores permite que estos operen a un porcentaje de su carga nominal (generalmente entre el 60% y el 80%) que es más eficiente en términos de consumo de combustible y menos estresante para los componentes del motor y el alternador. Esto contribuye a prolongar la vida útil de los equipos y a optimizar los costos de operación y mantenimiento.

3.3. SELECCIÓN DEL SISTEMA DE AIRE COMPRIMIDO

El sistema de aire comprimido constituye un servicio esencial dentro de la infraestructura operativa del Centro de Investigación e Innovación Tecnológica (CIIT) de la Universidad Católica de Santa María (UCSM), debido a que es requerido para el funcionamiento continuo de diversos equipos en aproximadamente quince laboratorios especializados. A pesar de que el consumo individual de aire comprimido en cada laboratorio es relativamente bajo, la simultaneidad de uso y la necesidad de mantener una calidad de aire adecuada para instrumentación sensible hacen imprescindible una planificación detallada en cuanto a capacidad de suministro, calidad, presión, confiabilidad y estabilidad del sistema.

3.3.1. Requisitos del sistema de aire comprimido

El aire comprimido en los laboratorios es fundamental para la operación de diversos equipos de instrumentación y procesos que requieren un suministro limpio y estable. Los requisitos clave considerados para el diseño son:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Calidad del aire: La pureza del aire comprimido es un aspecto crítico en entornos de laboratorio, ya que incluso trazas de aceite o partículas pueden afectar significativamente los resultados de experimentación, causar daño a instrumentos de precisión o comprometer la integridad de las muestras. Por ello, se ha especificado un sistema que proporcione aire libre de aceite, Clase 0, conforme a la norma (ISO 8573-1, 2010).

- Presión de operación: La presión de trabajo requerida para la mayoría de equipos de instrumentación oscila entre 6 y 8 bar, siendo 7 bar (100 psi) un valor típico para aplicaciones estándar en laboratorios. Esta presión debe mantenerse estable para evitar interrupciones o variaciones en el rendimiento de los procesos experimentales.

- Capacidad de respuesta ante picos de demanda: Aunque el consumo individual es reducido, el diseño del sistema debe considerar la posibilidad de una demanda súbita por la activación simultánea de varios equipos. Para ello, se ha adoptado un criterio de diseño basado en un factor de simultaneidad de 5 minutos, lo cual implica que el sistema debe ser capaz de sostener la demanda máxima estimada durante al menos ese periodo, sin pérdidas de presión ni afectación del suministro.

3.3.2. Estimación de la demanda simultánea y justificación del diseño

Para sustentar el dimensionamiento del sistema, se elaboró un análisis de los requerimientos estimados por cada laboratorio que hará uso del sistema de aire de instrumentación. En el siguiente cuadro se presenta la identificación de cada laboratorio, su uso principal del aire comprimido, el consumo promedio estimado, la estimación de picos por activación simultánea, la frecuencia con la que se espera tal simultaneidad, y finalmente el caudal proyectado:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Tabla 3.3

Estimación del caudal proyectado de aire comprimido por laboratorio

Nº	Laboratorio	Uso principal del aire comprimido	Consumo promedio estimado (l/s)	Pico estimado por activación simultánea (l/s)	Frecuencia de activación simultánea	Caudal proyectado (l/s)
1	Laboratorio de Física Aplicada	Activación de actuadores neumáticos pequeños	1.2	2	Alta	2
2	Laboratorio de Electrónica	Limpieza de tarjetas y componentes	0.8	1.5	Media	1.5
3	Laboratorio de Biotecnología	Microprocesos con válvulas de control neumático	1	2	Alta	2
4	Laboratorio de Ingeniería Química	Aire para instrumentación de presión y temperatura	1.2	2.5	Alta	2.5
5	Laboratorio de Prototipado	Herramientas neumáticas livianas	1.5	3	Alta	3
6	Laboratorio de Nanotecnología	Cámaras y válvulas de atmósfera controlada	1	2	Media	2
7	Laboratorio de Automatización	Cilindros neumáticos y sensores	1.3	2.5	Alta	2.5
8	Laboratorio de Energías Renovables	Sistemas de simulación con control neumático	1	2	Media	2
9	Laboratorio de Robótica	Actuadores de precisión y sistemas móviles	1.5	3	Alta	3
10	Laboratorio de Análisis Ambiental	Filtrado y secado de aire para análisis	0.9	1.5	Baja	1.5
11	Laboratorio de Ensayos de Materiales	Ensayos con prensas neumáticas	1.2	2.5	Media	2.5
12	Laboratorio de Control de Procesos	Simulación de sistemas de planta	1	2	Alta	2
13	Laboratorio de Electrónica Médica	Control de flujos neumáticos en dispositivos	0.9	1.8	Media	1.8
14	Laboratorio de Sistemas Embebidos	Válvulas para pruebas de sensores	0.8	1.5	Baja	1.5
15	Laboratorio de Inteligencia Artificial Física	Pruebas en sistemas híbridos	1	2	Media	2
	Total estimado (pico simultáneo)	—	—	—	—	**33.8 l/s**

Nota. Extraído de (Universidad Católica de Santa María, 2025)

3.3.3. Componentes del sistema seleccionado

Para cumplir con estos requisitos, se ha seleccionado un sistema compuesto por:

1) Compresores:

- Un (1) compresor Atlas Copco modelo GA11.
- Dos (2) compresores Atlas Copco modelo SF11.

2) Tanques Buffer (Recibidores de Aire):

- Dos (2) tanques buffer con una capacidad individual de 30 galones (aproximadamente 113.5 litros) cada uno.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.3.4. Justificación de la selección de compresores y tanques

La selección de los compresores Atlas Copco GA11 y SF11, todos de 11 KW de potencia, junto con los tanques buffer, se basa en su capacidad de satisfacer la demanda combinada, garantizar la calidad del aire y proporcionar resiliencia operativa:

a) **Tecnología Oil-Free (SF11):** Los compresores SF11 utilizan tecnología scroll sin aceite, lo que asegura el suministro de aire Clase 0 (libre de aceite) o Clase 1.2.0, esencial para evitar la contaminación de la delicada instrumentación de laboratorio. Esta característica es crítica para el entorno del CIIT-UCSM.

b) **Eficiencia y Confiabilidad (GA11 y SF11):** Ambos modelos son reconocidos por su alta eficiencia energética y confiabilidad, características fundamentales para minimizar los costos operativos a largo plazo. Sus sistemas de control avanzados (Elektronikon) permiten una gestión óptima del aire y la energía.

d) **Bajo Nivel de Ruido:** Los compresores SF11 en particular, con sus bajos niveles de ruido, son aptos para entornos donde la proximidad a áreas sensibles es una consideración, permitiendo una instalación más flexible.

e) **Capacidades de Suministro (FAD):**

- El compresor GA11, operando a 7.5 bar, tiene una entrega de aire libre (FAD) de aproximadamente 27.0 l/s.
- Cada compresor SF11, operando a 7.5 bar (valor representativo para esta serie), tiene una entrega de aire libre (FAD) de aproximadamente 28.3 l/s.
- Capacidad Total de los Compresores: La operación conjunta de los tres compresores (1 GA11 + 2 SF11) proporciona una capacidad total de:

$$27.0 \text{ l/s} + (2 \times 28.3 \text{ l/s}) = 27.0 \text{ l/s} + 56.6 \text{ l/s} = 83.6 \text{ l/s}$$

f) **Función de los Tanques Buffer:** Los dos tanques buffer de 30 galones (total 60 galones o 227 litros) son vitales para proporcionar una reserva de aire comprimido. Estos tanques absorben los picos de demanda instantáneos, reducen la frecuencia de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ciclos de arranque/parada de los compresores, y permiten un suministro más estable de presión, lo que se traduce en una mayor eficiencia y una vida útil prolongada de los equipos.

3.3.5. Dimensionamiento para el factor de simultaneidad de 5 minutos

Uno de los aspectos críticos del diseño del sistema de aire comprimido para el CIIT-UCSM es su capacidad de responder de manera inmediata a una demanda concentrada de corta duración, es decir, picos de consumo simultáneo que pueden producirse cuando varios laboratorios activan equipos neumáticos en paralelo. Para cubrir esta condición operativa, se ha considerado un factor de simultaneidad de 5 minutos, lo que significa que el sistema debe estar en condiciones de suministrar aire comprimido suficiente durante al menos cinco minutos continuos en una situación de máxima exigencia.

Tomando como base el caudal pico proyectado de 33.8 l/s determinado en el Cuadro 3.3, y considerando la capacidad combinada de los compresores (83.6 l/s), se puede concluir que el sistema tiene más del doble de capacidad respecto al pico de demanda simultánea, ofreciendo un margen de seguridad robusto.

1) **Cálculo de la Capacidad de Reserva de los Tanques Buffer:**
   Asumiendo una presión de operación nominal de 7 bar (g) y una caída de presión hasta un mínimo aceptable de 5 bar (g) antes de que el compresor responda a plena carga. La presión atmosférica en Cerro Colorado, Arequipa (2400 m.s.n.m.) es de aproximadamente 0.76 bar (abs).

- Volumen total de los tanques: 2×30 galones = 60 galones ≈ 227 L
- Presión máxima absoluta: P max_abs =7 bar (g)+0.76 bar (abs)=7.76 bar (abs)
- Presión mínima absoluta: P min_abs =5 bar (g)+0.76 bar (abs)=5.76 bar (abs)
- Volumen de aire libre utilizable en los tanques (V util):

$$V_{util} = V_{tanque} * \frac{P_{\max_abs} - P_{\min_abs}}{P_{atmosférica}}$$

$$V_{util} = 227\ L * \frac{7.76\ \text{bar} - 5.76\ \text{bar}}{0.76\ bar}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

$$V_{util} = 227\ L * \frac{2\ \text{bar}}{0.76\ bar}$$

$$V_{util} \approx 597\ \text{L de aire}$$

2) Cálculo de la Capacidad Sostenible en 5 Minutos

La capacidad total de suministro del sistema durante 5 minutos se deriva de la suma del aire generado por los compresores en ese tiempo y el aire almacenado en los tanques buffer.

- Volumen de aire generado por los compresores en 5 minutos:

  V compresores = 83.6 l/s × (5 min × 60 s/min) = 83.6 l/s × 300 s = 25080 L

- Volumen Total de Aire Disponible en 5 Minutos:

  V total = V útil + V compresores = 597 L + 25080 L = 25677 L

- Caudal Promedio Sostenible en 5 Minutos (Factor de Simultaneidad):

  Q simultaneo = V total / (5 min × 60 s/min) = 25677 L / 300 s = 85.61 l/s

  Este valor es 2.5 veces mayor al caudal pico proyectado (33.8 l/s), lo que demuestra que el sistema no solo puede mantener la presión y calidad del aire necesarias durante estos picos simultáneos de cinco minutos, sino que también lo hace con un amplio margen de reserva operativa. Esto garantiza que la actividad científica, el funcionamiento de actuadores, válvulas de precisión y demás equipos críticos en los laboratorios no se vean afectados, aún en escenarios de uso intensivo y concentrado.

  Asimismo, esta capacidad adicional se traduce en reducción del estrés operativo sobre los equipos de compresión, menor frecuencia de ciclos, menor desgaste mecánico y, por tanto, mayor vida útil y confiabilidad global del sistema.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

3.4. MODELAMIENTO TRIDIMENSIONAL DEL RECINTO

La distribución espacial de los sistemas dentro de la casa de fuerza del CIIT-UCSM responde a criterios técnicos orientados a optimizar la operación, el mantenimiento y la eficiencia del conjunto de equipos que conforman este recinto. Esta disposición fue definida en estrecha coordinación con el equipo técnico y arquitectónico de la Universidad, considerando variables como la ventilación, el mantenimiento, la emisión sonora y, especialmente, las restricciones dimensionales asociadas a los equipos seleccionados.

En una etapa inicial del proyecto, el diseño contemplaba un sótano de un solo nivel. Con base en esta configuración se desarrollaron los primeros esquemas tridimensionales, en los cuales se dispuso adecuadamente a los tres generadores eléctricos de 600 kVA y los sistemas auxiliares asociados, incluyendo compresores de aire, tanques buffer, tableros de control, UPS y ductos de extracción.

Sin embargo, durante la etapa de evaluación eléctrica, se constató que la demanda total estimada del CIIT era superior a la prevista, ascendiendo a 1556.29 kVA. Esto implicó sustituir los generadores originalmente contemplados por unidades de 800 kVA, las cuales presentan dimensiones significativamente mayores, tanto en longitud como en altura, así como mayores requerimientos en el diseño del sistema de escape de gases de combustión y evacuación de aire caliente.

Este cambio trajo consigo una problemática crítica: la imposibilidad de realizar un diseño eficiente del sistema de ductos de escape dentro del espacio disponible del sótano de un solo nivel. La altura adicional de los nuevos generadores interfería con el recorrido natural de las tuberías de escape, obligando a trazar rutas complejas, con curvas innecesarias y tramos que comprometían el rendimiento térmico y la accesibilidad para mantenimiento. La ventilación forzada también se veía restringida por la interferencia con otros sistemas y elementos arquitectónicos.

Frente a estas limitaciones, y tras un proceso de análisis técnico conjunto con el equipo de arquitectos de la UCSM, se adoptó la decisión de transformar el diseño arquitectónico en un sótano de doble nivel, conservando la misma disposición funcional de los equipos. Es

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

decir, todos los sistemas previamente dispuestos en el nivel -1 fueron trasladados íntegramente al nivel -2, sin alterar la lógica funcional ni la distribución relativa entre ellos.

Esta modificación permitió liberar el nivel superior (-1) exclusivamente para el trazado eficiente y directo de los ductos de escape de gases de combustión y aire caliente hacia el exterior, logrando recorridos más lineales, con menos pérdidas de carga, y con mejores condiciones térmicas y de accesibilidad.

A continuación, planteamos los modelos 3D del recinto planteando diferentes perspectivas y modelos para el ordenamiento de los equipos dentro del sótano -1 donde se nos fue brindado el espacio de construcción inicialmente, tomando en cuenta el espacio y dimensiones que también abarcarían las tuberías de evacuación de gases de escape, los ductos de salida de ventilación de los generadores y el espacio para el ingreso de aire de refrigeración.

3.5. ANÁLISIS DE ESQUEMAS DE DISTRIBUCIÓN DE EQUIPOS

En el proceso de diseño de la casa de fuerza del CIIT-UCSM, se desarrollaron diversos esquemas de distribución interna de los equipos auxiliares con el objetivo de evaluar configuraciones óptimas en términos de eficiencia espacial, facilidad de montaje, mantenibilidad, flujo de aire y evacuación de gases. Estos esquemas fueron modelados inicialmente para un sótano de un solo nivel, considerando los generadores de 600 kVA como base.

Sin embargo, tras la decisión de adoptar generadores de mayor potencia (800 kVA), fue necesario revisar las propuestas iniciales. No obstante, la utilidad de estos esquemas se mantuvo, ya que permitieron conservar en gran parte la disposición relativa de equipos como compresores, tableros eléctricos y tanques buffer. La reubicación al nivel -2 se efectuó manteniendo esta lógica funcional, mientras que se rediseñaron los ductos de escape y de ventilación.

Los cinco esquemas analizados presentan diferentes ventajas y limitaciones, principalmente en relación con el espacio disponible para la maniobra de camiones, la interferencia estructural con los ductos de gases, y la facilidad de mantenimiento de los

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

componentes principales. A continuación, se describen detalladamente cada una de las configuraciones propuestas.

3.5.1. Esquema-1

En la Figura 3.1 se presenta el esquema propuesto nro. 1 con las siguientes características principales:

- Espacio de 6.45 m para maniobra de camiones, lo cual restringe un poco la maniobra de los camiones en la parte superior del recinto.
- Espacio suficiente para puertas de acceso a los almacenes superiores y movilización a través de un pasadizo externo.
- Cuenta con el modelo más simple de chimenea planteado lo cual facilitará su maquinado y ensamblado si es que la opción escogida.
- Cuenta con la cantidad óptima de tuberías y volteos para llegar a la zona de descarga de gases de escape.
- En cuanto al montaje el modelo no contempla puntos de apoyo para la estructura vertical.

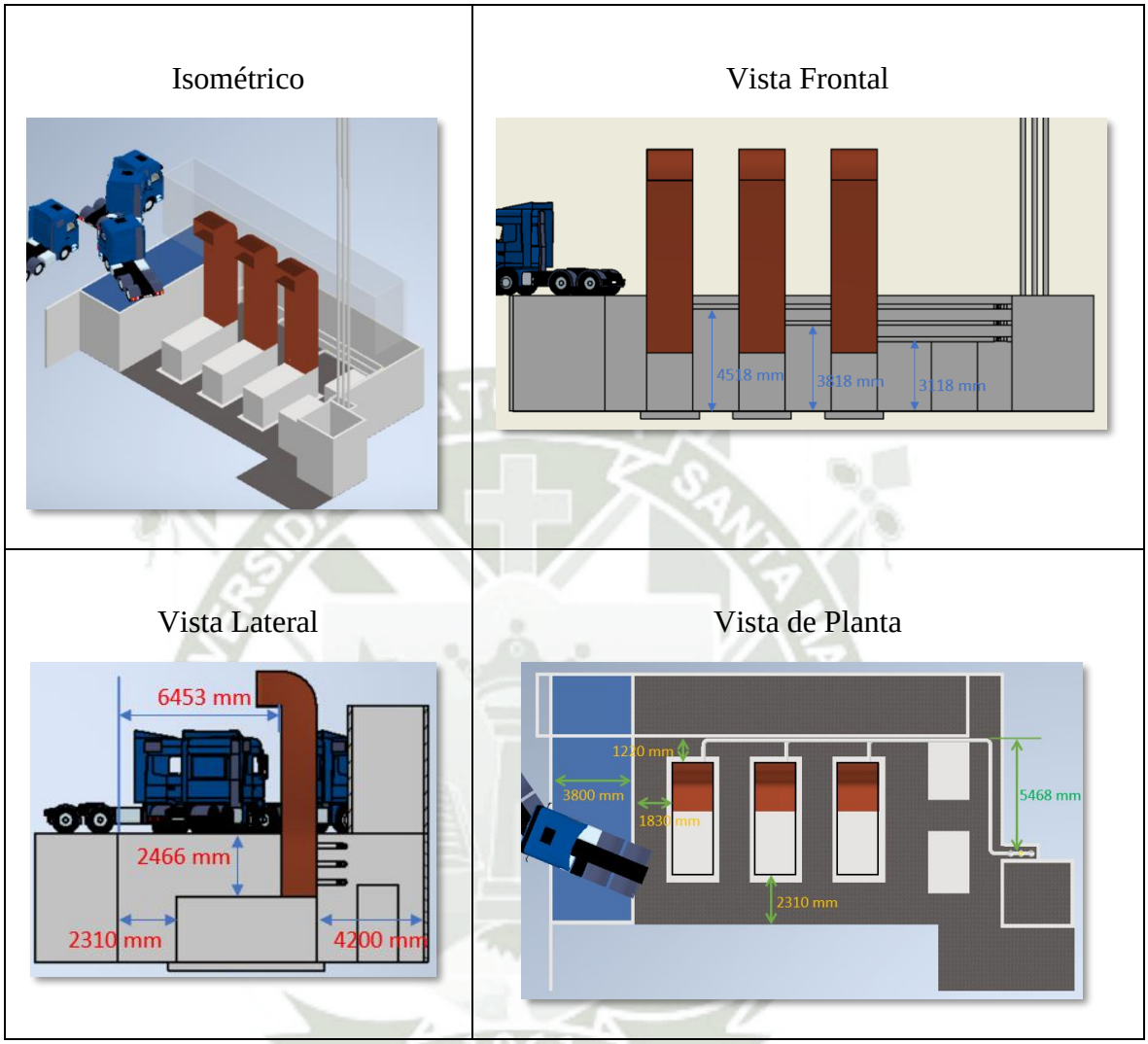
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 3.1

Distribución Esquema 1



3.5.2. Esquema-2

En la Figura 3.2 se presenta el esquema propuesto nro. 2 con las siguientes características principales:

- Espacio de 9.02 m para maniobra de camiones, lo cual da un amplio espacio de maniobra para camiones.
- Espacio suficiente para puertas de acceso a los almacenes superiores y movilización a través de un pasadizo externo.
- Restringe demasiado el espacio de almacenamiento interno de los almacenes haciendo cierta parte de ellos inutilizable.

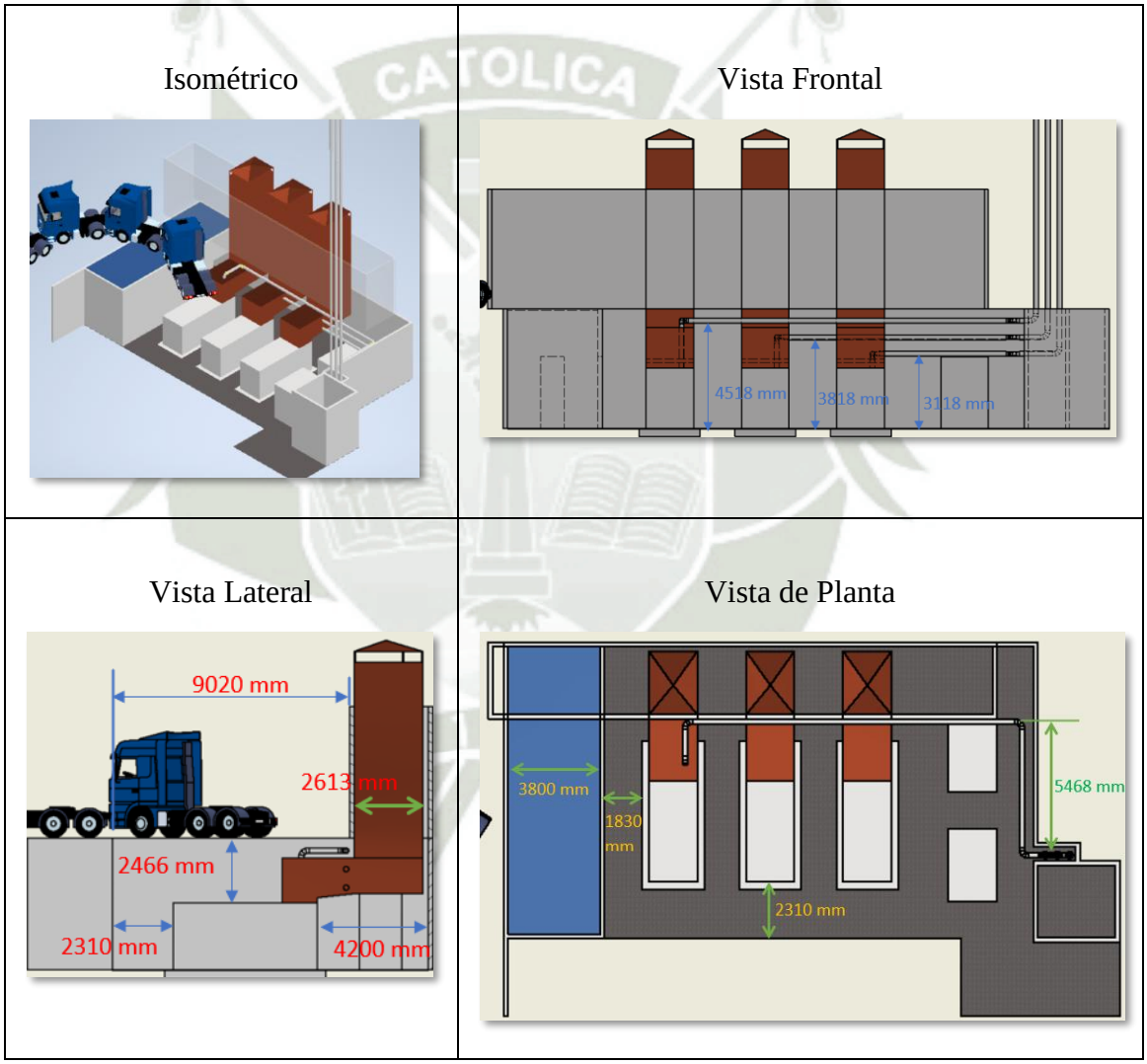
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Cuenta con un modelo de chimenea que requiere extensiones y ampliaciones de boca lo cual aumenta la cantidad de material empleado, la dificultad de maquinado y ensamble.
- Las tuberías de escape de combustión con esta opción tienden a interferir mucho directamente en la estructura de la chimenea planteada.

Figura 3.2

Distribución Esquema 2



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

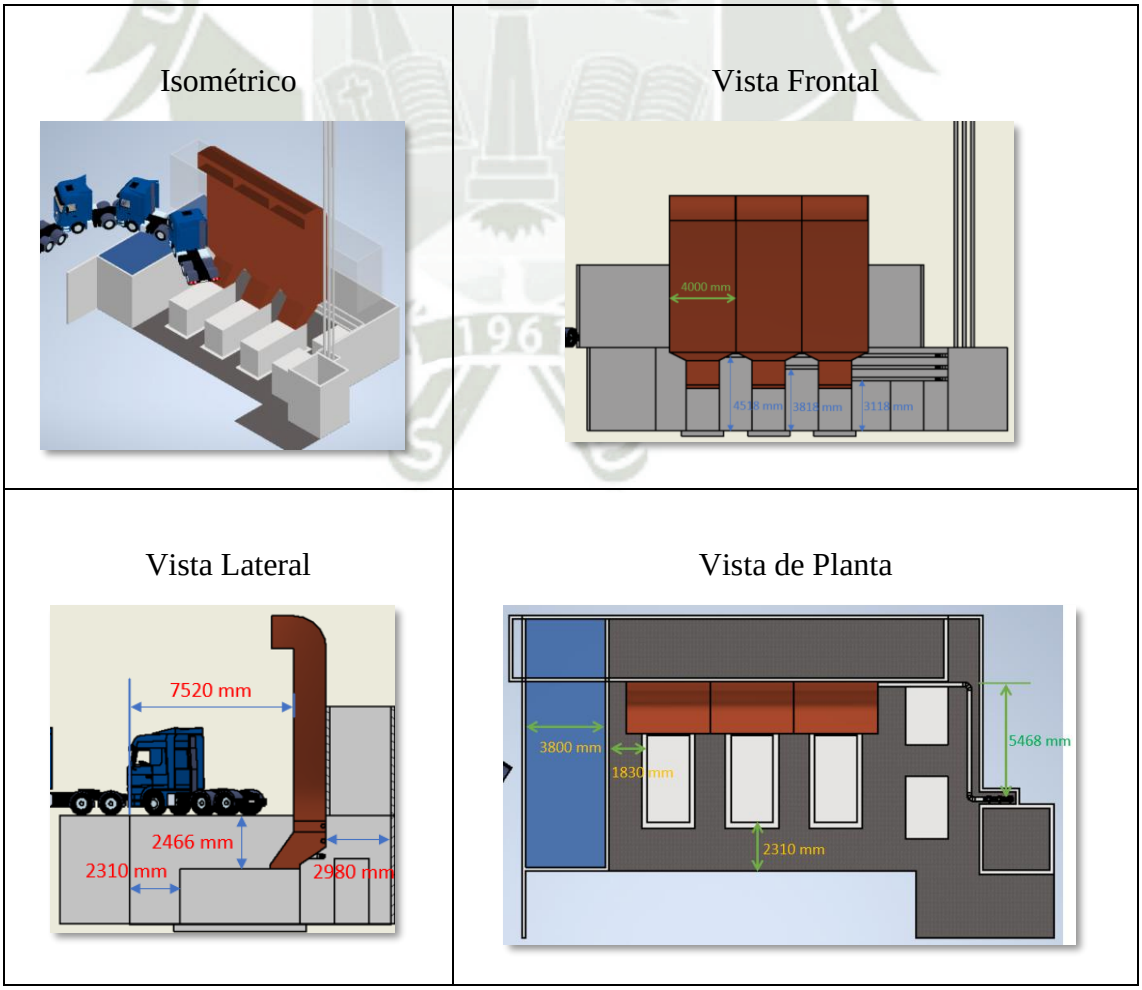
3.5.3. Esquema-3

En la Figura 3.3 se presenta el esquema propuesto nro. 3 con las siguientes características principales:

- Espacio de 7.52 m para maniobra de camiones, lo cual restringe un poco la maniobra de los camiones en la parte superior del recinto.
- No cuenta con espacio suficiente para puertas de acceso a los almacenes superiores ni movilización a través de un pasadizo externo.
- Cuenta con un modelo de chimenea que requiere extensiones y ampliaciones de boca un poco más complejas que el esquema 2, lo cual aumenta la cantidad de material empleado, la dificultad de maquinado y ensamble.
- Las tuberías de escape de combustión con esta opción tienden a interferir mucho directamente en la estructura de la chimenea planteada.

Figura 3.3

Distribución Esquema 3



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

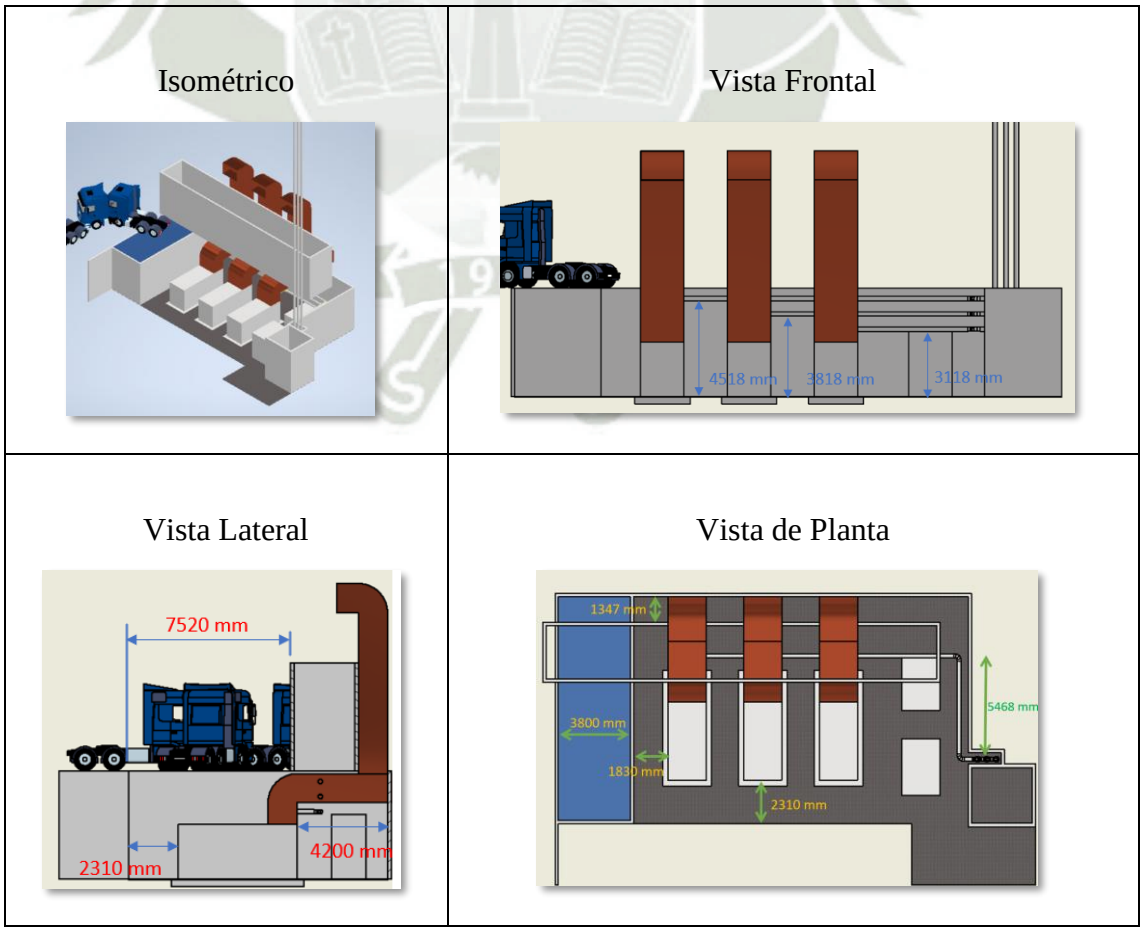
3.5.4. Esquema-4

En la Figura 3.4 se presenta el esquema propuesto nro. 4 con las siguientes características principales:

- Espacio de 7.52 m para maniobra de camiones, lo cual restringe un poco la maniobra de los camiones en la parte superior del recinto.
- Cuenta con espacio suficiente para puertas de acceso a los almacenes superiores.
- Cuenta con un modelo de chimenea que requiere extensiones boca bastante largas lo cual aumenta la cantidad de material empleado, la dificultad de maquinado y ensamble y este caso para la gran cantidad de material y espacio también significaría u problema con el montaje.
- Las tuberías de escape de combustión con esta opción tienden a interferir mucho directamente en la estructura de la chimenea planteada.

Figura 3.4

Distribución Esquema 4



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

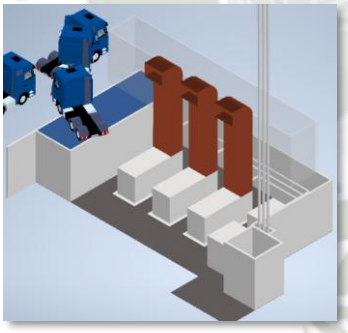
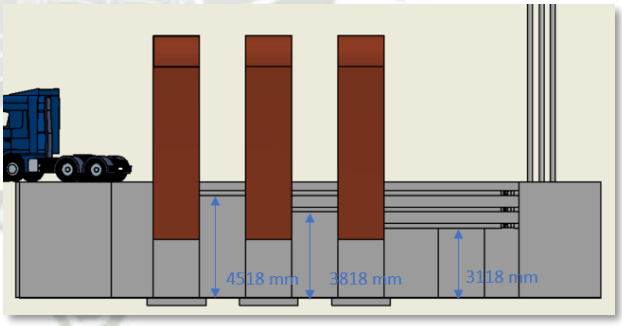
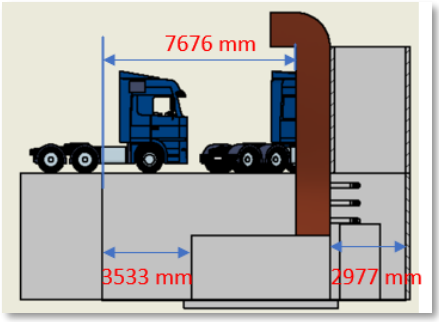
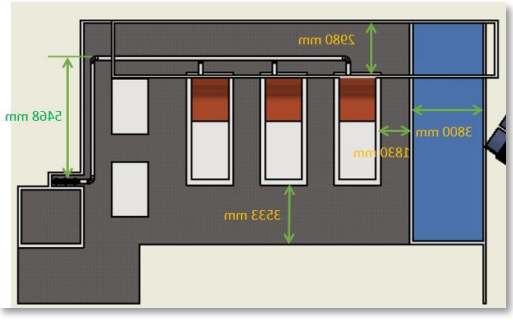
3.5.5. Esquema-5

En la Figura 3.5 se presenta el esquema propuesto nro. 5 con las siguientes características principales:

- Espacio de 76.76 m para maniobra de camiones, lo cual es un espacio considerable para la maniobra segura de los camiones en la parte superior del recinto.
- Espacio suficiente para puertas de acceso a los almacenes superiores.
- Cuenta con el modelo más simple de chimenea planteado lo cual facilitará su maquinado y ensamblado si es que la opción escogida.
- Cuenta con la cantidad óptima de tuberías y volteos para llegar a la zona de descarga de gases de escape.
- En cuanto al montaje el modelo si contempla puntos de apoyo para la estructura vertical que podrían estar instalados en la pared lateral del almacén.

Figura 3.5

Distribución Esquema 5

<table>
<tr><td>Isométrico
</td><td>Vista Frontal

</td></tr>
<tr><td>Vista Lateral

</td><td>Vista de Planta
</td></tr>
</table>

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.6. SELECCIÓN DE CONFIGURACIÓN

A continuación, en base a los esquemas de las diversas configuraciones posibles realizadas previamente, procedemos a realizar la Tabla 4 de valoraciones para realizar la selección del esquema más idóneo.

Tabla 3.4

Tabla de Valoración para selección de configuración del recinto

	Criterios	Ponderación por criterio	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa 4	Alternativa 5
		Ponderación	Valor	Valor	Valor	Valor	Valor
1	Eficiencia espacial y seguridad para maniobra de camiones	4	2	4	3	3	3
2	Eficiencia de montaje	3	4	2	3	2	4
3	Espaciamiento para tableros de control	3	4	1	4	1	4
4	Espaciamiento para movimiento de cargas al interior del recinto	3	4	2	4	2	4
5	Eficiencia en uso de tuberías	3	4	1	3	1	4
6	Mantenibilidad de generadores	3	4	1	1	1	4
7	Mantenibilidad salidas de aire de refrigeración	3	4	1	3	2	4
8	Mantenibilidad de tuberías de gases de escape	3	4	1	4	1	4
9	Facilidad de montaje de equipos	2	4	1	3	1	4
10	Facilidad de Fabricación de salidas de aire	2	4	2	2	2	4
11	Facilidad de montaje de tuberías	2	3	2	3	2	3
12	Facilidad de montaje de salidas de aire de refrigeración	2	4	2	3	2	4
			122	57	100	56	126
	Totalizado		1.13	0.53	0.93	0.52	1.17

Nota. Calificación realizada con valoración de 1-4, siendo 1 el mínimo y 4 el máximo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

La ponderación final refleja que la alternativa más idónea para nuestra aplicación es la número 5, la cual presenta las mejores características para la aplicación requerida.

Gracias a los esquemas preliminares desarrollados durante la etapa inicial del proyecto, fue posible conservar de manera eficiente la disposición general de los equipos auxiliares dentro del recinto, como los compresores de aire, tanques buffer, UPS y tableros eléctricos. No obstante, el incremento en el tamaño de los generadores de 600 kVA a 800 kVA hizo necesaria una modificación sustancial en el diseño de los sistemas de ventilación de aire de refrigeración y de las tuberías de escape de gases de combustión, ya que las dimensiones mayores de los nuevos generadores comprometían la eficiencia y viabilidad de los recorridos inicialmente planteados.

Este cambio de escala en el equipamiento, sumado a la transformación del recinto en un sótano de doble nivel, obligó a replantear el posicionamiento de las salidas de aire caliente y los ductos de gases de escape. La solución adoptada buscó optimizar los flujos de aire, reducir pérdidas de carga, evitar interferencias estructurales y facilitar el mantenimiento de los sistemas. Como resultado de este proceso de adaptación, se generaron nuevas configuraciones que permitieron integrar de manera efectiva los requerimientos técnicos del sistema con las condiciones arquitectónicas del recinto.

La Figura 3.6 muestra las principales opciones evaluadas para la disposición final de las salidas de aire de refrigeración, considerando el nuevo esquema espacial de doble sótano y las rutas más eficientes de evacuación térmica y de gases de escape, solución que se explica con mayor detalle en el Capítulo 5.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

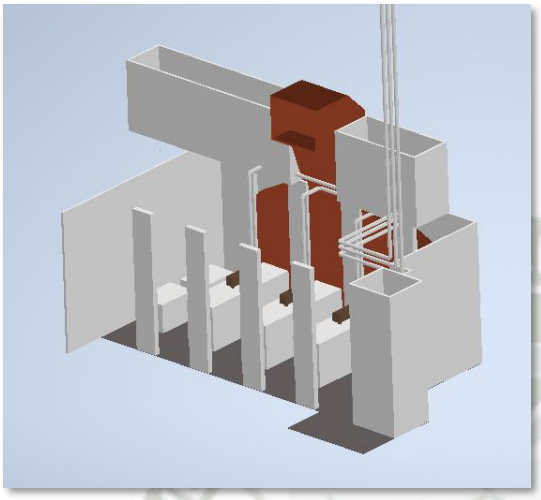
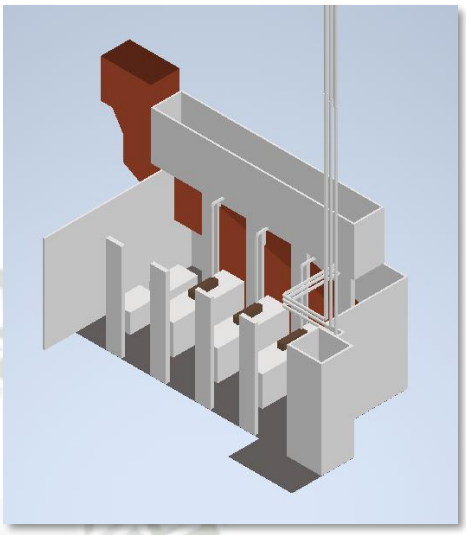
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 3.6

Posibles disposiciones para la salida de aire

Salida de aire intermedia (cruce por almacenes)	Salida de aire lateral
	

3.7. UBICACIÓN DE EQUIPOS Y GESTIÓN DEL ÁREA DE TRABAJO

Una vez definidos los equipos principales que conformarían la casa de fuerza del CIIT-UCSM, se procedió a realizar un proceso riguroso de ubicación técnica en el recinto subterráneo. Esta etapa consideró tanto los requerimientos espaciales individuales de cada equipo como la interacción entre ellos, con el objetivo de optimizar el aprovechamiento del área disponible, facilitar el mantenimiento preventivo y correctivo, y garantizar condiciones seguras de operación en todo momento.

Para ello, se contactó directamente con los proveedores de los equipos seleccionados, quienes brindaron las dimensiones precisas, especificaciones de instalación, distancias mínimas de seguridad, zonas de ventilación y áreas de acceso para mantenimiento. Esta información fue esencial para trazar el layout final en planta y elevar el modelado tridimensional que permitiera validar la compatibilidad espacial de todos los elementos.

Uno de los principales desafíos encontrados en esta etapa fue el relacionado con la altura de los nuevos generadores eléctricos de 800 kVA, los cuales, al incorporar un sistema de silenciador superior (Figura 3.7), sobrepasaban significativamente las alturas previstas en

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

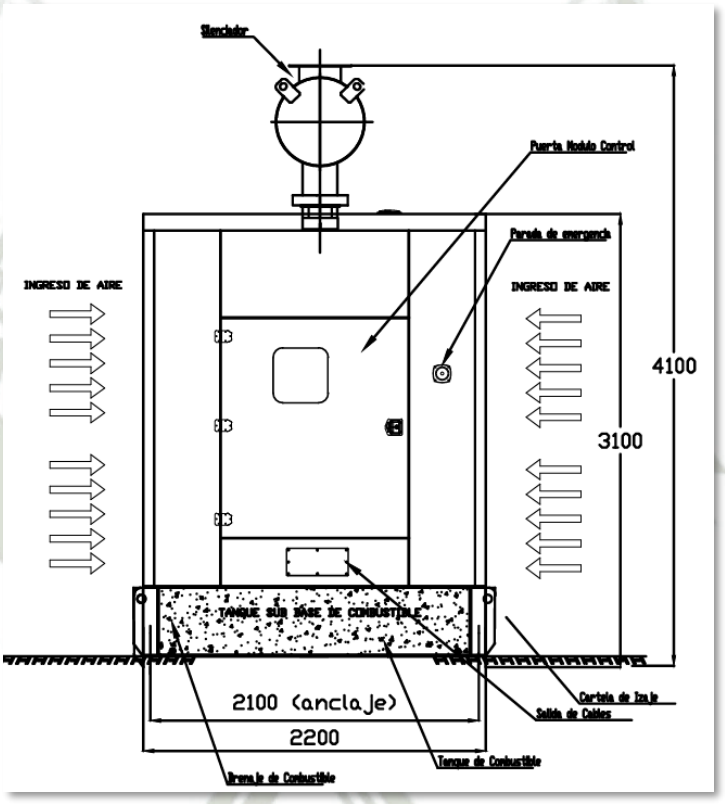
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

el diseño original de un solo nivel de sótano. Esta situación generaba una interferencia directa entre los ductos de escape de gases de combustión y las vigas estructurales, lo que hubiese obligado a realizar perforaciones en elementos críticos de refuerzo, comprometiendo la integridad estructural del recinto.

Figura 3.7

Dimensiones de Generador de 800KV



Como solución a esta problemática, se optó por modificar el diseño hacia un doble sótano, desplazando todos los equipos principales al nivel -2, lo cual no solo resolvió las restricciones de altura, sino que también habilitó el nivel -1 para el trazado libre y eficiente de los sistemas de evacuación de gases y ventilación térmica. Esta medida fue estratégica para evitar cruces innecesarios entre ductos y estructuras, así como para mantener rutas limpias, accesibles y termodinámicamente eficientes.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

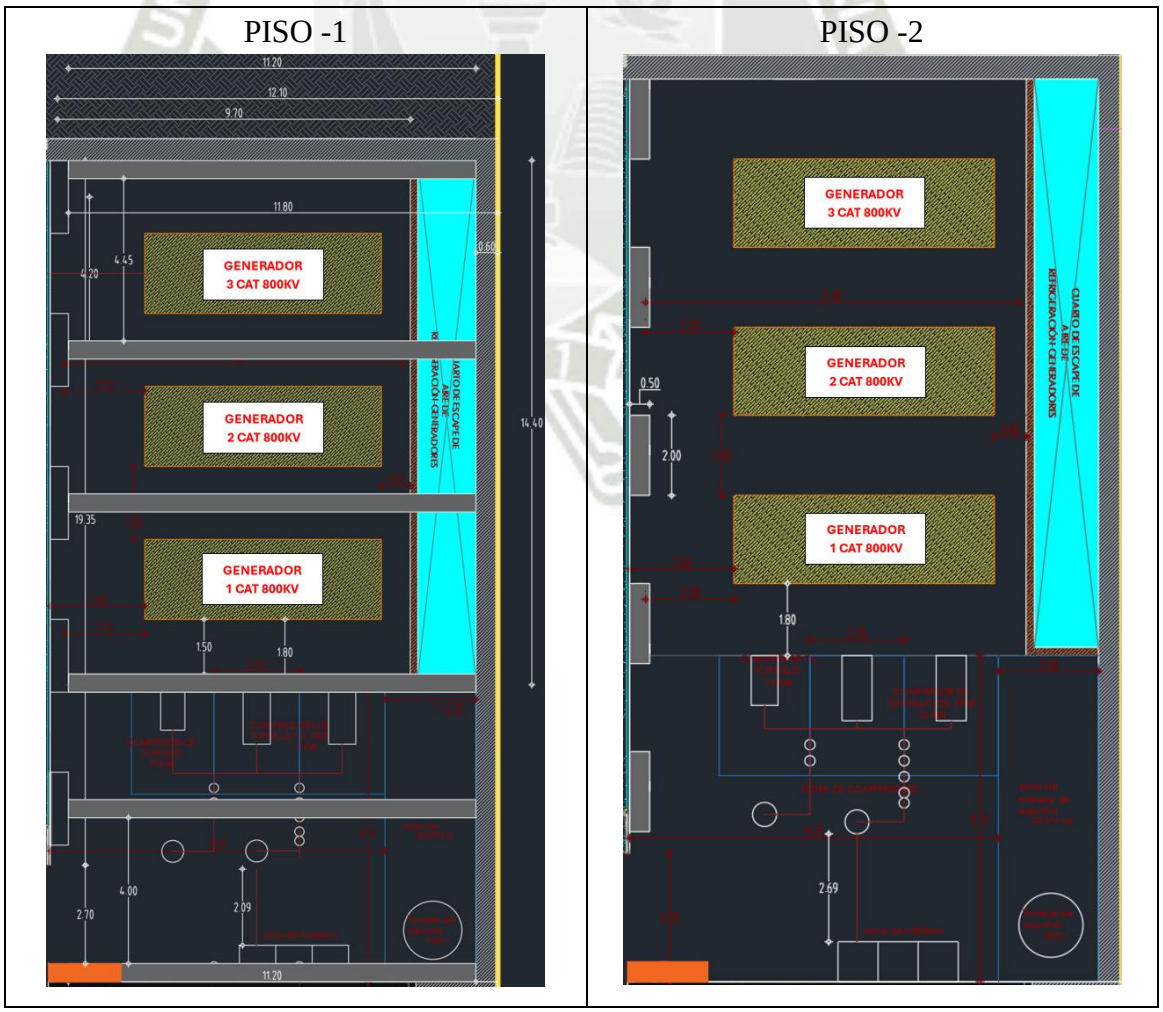
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

La nueva disposición también permitió la creación de una mezanina dentro del nivel -1, que podrá ser utilizada en el futuro para albergar otros servicios auxiliares del CIIT, aunque su diseño y funcionalidad específica no forman parte del alcance de la presente tesis.

Finalmente, una de las áreas más complejas de resolver fue la evacuación del aire caliente residual proveniente de los generadores. Este aire, que debe ser expulsado rápidamente para evitar recirculaciones térmicas y sobrecalentamientos, requería un diseño específico de salidas y ductos. Se evaluaron diversas configuraciones que se describen con mayor detalle en el Capítulo 5, destacando la solución adoptada que consiste en un cuarto de descarga derivador, cuya función es canalizar el aire caliente hacia el exterior sin generar flujos acelerados ni afectar zonas adyacentes. La evolución de esta solución se apoya en esquemas alternativos presentados a continuación (Figura 3.8), y en los análisis de flujo de aire y presiones internas realizados durante la etapa de modelado.

Figura 3.8

Distribución en Pisos -2 y -1



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3.8. DISTRIBUCIÓN FINAL EN NIVELES -1 Y -2

Como resultado del proceso iterativo de diseño, validación técnica y ajuste arquitectónico, se definió una distribución final de equipos y sistemas dentro de la casa de fuerza del CIIT-UCSM, basada en la implementación de un recinto subterráneo de doble nivel (sótanos -1 y -2). Esta configuración fue necesaria para albergar de forma segura y eficiente los generadores eléctricos de mayor capacidad y sus sistemas auxiliares, así como para resolver las limitaciones de espacio y ventilación identificadas durante el desarrollo del proyecto.

En esta distribución definitiva, todos los equipos principales, incluyendo los generadores de 800 kVA, compresores de aire, tanques buffer, UPS, tableros eléctricos y ductos de extracción, fueron reubicados en el nivel -2, el cual fue diseñado específicamente para albergar los sistemas electromecánicos de gran volumen, asegurando el cumplimiento de los requerimientos de espacio, accesibilidad y seguridad operativa. La disposición adoptada permite mantener zonas de servicio libre alrededor de cada equipo, favoreciendo las actividades de inspección, operación y mantenimiento a lo largo de su ciclo de vida útil.

Por otro lado, el nivel -1 fue reservado para albergar exclusivamente los sistemas de evacuación de gases de escape y aire caliente residual, lo que incluye los ductos horizontales principales, los plenos de ventilación, cámaras de distribución y el cuarto derivador de aire de refrigeración. Este último elemento fue incorporado como parte de la solución final adoptada para la salida de aire caliente, a partir del análisis de esquemas alternativos presentados en la Figura 3.6, los cuales surgieron tras el redimensionamiento de los generadores y la consecuente necesidad de modificar la ruta y orientación de las salidas de ventilación.

Cabe destacar que, aunque la configuración número 5 resultó la más adecuada durante la etapa en que el diseño consideraba un solo sótano, su viabilidad fue superada por la nueva solución espacial al migrar a un doble nivel. Esta modificación permitió preservar la distribución general de los equipos auxiliares, pero exigió una reconfiguración específica de las salidas de aire de refrigeración para ajustarse a las condiciones impuestas por el mayor tamaño de los generadores y la separación vertical entre niveles. En consecuencia, se

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

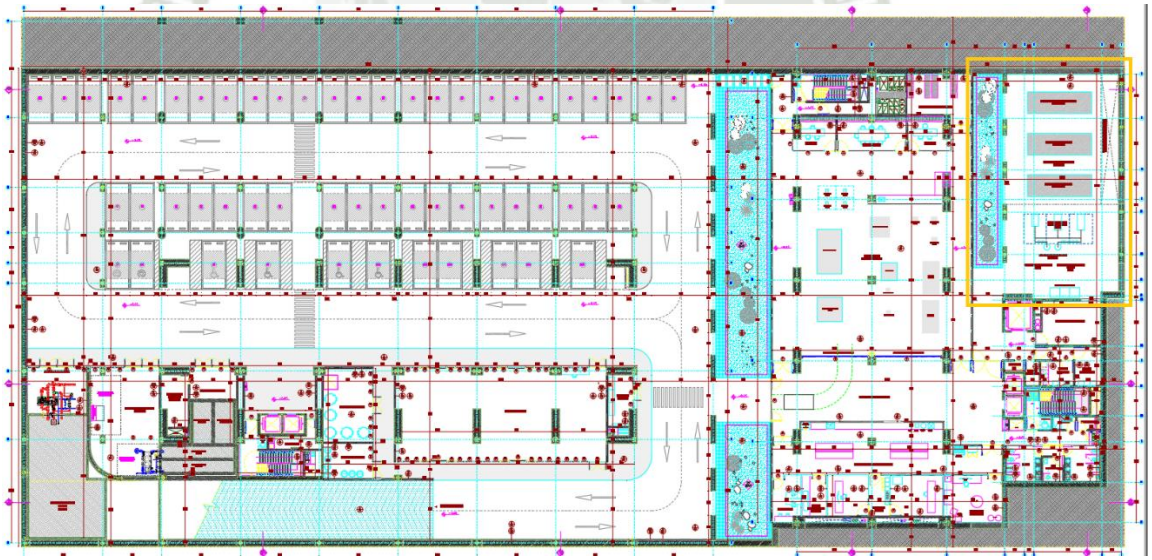
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

definieron dos nuevas opciones de evacuación térmica que se desarrollan en la Figura 3.6 y cuyo análisis completo se aborda en el Capítulo 5.

Para complementar esta sección y facilitar la comprensión del emplazamiento físico de la casa de fuerza dentro del complejo arquitectónico del CIIT, se presenta la Figura 3.9, la cual muestra una vista general del edificio, donde la casa de fuerza se encuentra encerrada dentro de un rectángulo amarillo. Esta imagen permite ubicar con claridad la posición relativa de la casa de fuerza respecto a los demás ambientes y laboratorios del centro. Asimismo, las distribuciones específicas de los niveles -1 y -2 han sido documentadas en los planos arquitectónicos AR-102 y AR-103, incluidos en el Anexo 1 de esta tesis como referencia técnica para la ejecución y supervisión del proyecto.

Figura 3.9

Distribución espacial CIIT y ubicación de la casa de fuerza



3.9. NORMAS DE SEGURIDAD Y MEDIOAMBIENTALES A TOMAR EN CUENTA

El diseño y operación de la casa de fuerza del CIIT-UCSM deben cumplir con estrictos criterios de seguridad ocupacional y control ambiental, considerando la presencia de generadores de combustión interna, sistemas de escape de gases y ventilación forzada en un

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

entorno confinado de doble sótano. A fin de garantizar condiciones adecuadas para la salud del personal técnico, así como para el resguardo de los equipos instalados y del medio ambiente, se tomaron como referencia las normativas internacionales más relevantes, complementadas por las disposiciones del Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.

En particular, se consideraron los límites máximos permisibles de exposición a contaminantes gaseosos, conforme a estándares internacionales como los establecidos por la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ((EPA), 2016), la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional ((OSHA), 2006) y las recomendaciones aceptadas por la Norma Técnica Peruana (Instituto Nacional de Calidad (INACAL), 2019) y la Norma (Ministerio de Vivienda, 2006) del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE, Perú). Estos límites aseguran que la acumulación de gases nocivos en el ambiente no represente un riesgo para la salud humana ni para el funcionamiento seguro de los sistemas instalados.

A continuación, se detallan los principales parámetros normativos tomados en cuenta para el diseño del sistema de ventilación y evacuación de gases en la casa de fuerza:

1) **Monóxido de Carbono (CO)**

- Límite de Exposición Ocupacional (LEO): 25 ppm (partes por millón) en un promedio de 8 horas, según la Agencia de Protección Ambiental de EE.UU. (EPA) y la Administración de Seguridad y Salud Ocupacional (OSHA).
- Límite de Exposición a Corto Plazo: 200 ppm durante 15 minutos.

Dióxido de Nitrógeno (NO2)

- Límite de Exposición Ocupacional (LEO): 3 ppm (promedio ponderado en el tiempo - TWA) durante 8 horas.
- Límite de Exposición a Corto Plazo: 5 ppm durante 15 minutos.

2) **Dióxido de Azufre (SO2)**

- Límite de Exposición Ocupacional (LEO): 2 ppm (promedio ponderado en el tiempo - TWA) durante 8 horas.
- Límite de Exposición a Corto Plazo: 5 ppm durante 15 minutos.
- Partículas en Suspensión (PM10 y PM2.5)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- PM10: 50 µg/m³ (microgramos por metro cúbico) en promedio de 24 horas.
- PM2.5: 25 µg/m³ en promedio de 24 horas.

3) **Compuestos Orgánicos Volátiles (COVs)**

   Límite de Exposición Ocupacional (LEO): Depende del compuesto específico, pero en general se considera un valor de referencia de 0.1 ppm para compuestos más comunes como el benceno.

4) **Oxígeno (O2)**

   Concentración Adecuada: Entre 19.5% y 23.5%. Niveles por debajo de 19.5% pueden ser peligrosos para la salud.

Estos valores representan parámetros críticos que fueron tomados en cuenta en el diseño de los sistemas de ventilación, renovación de aire, monitoreo de gases y evacuación térmica, especialmente por tratarse de un recinto subterráneo donde el riesgo de acumulación de gases de escape es considerablemente mayor. Además, el sistema ha sido diseñado para operar bajo presión positiva relativa frente a zonas adyacentes, lo que contribuye a impedir el ingreso de contaminantes externos o retorno de gases ya evacuados.

Como medida complementaria, se ha previsto la instalación de sensores de monitoreo continuo para CO, NO_2 y O_2, conectados a una alarma de seguridad y al sistema de control del edificio. De esta forma, se garantiza la detección temprana de condiciones peligrosas y se permite la activación automática de protocolos de emergencia en caso de niveles críticos.

Este enfoque de diseño responde no solo a los requerimientos técnicos de seguridad y normativa, sino también al compromiso institucional del CIIT-UCSM con la sostenibilidad y el bienestar de sus usuarios.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO IV

DISEÑO DEL SISTEMA DE ESCAPE DE ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

4. DISEÑO DEL SISTEMA DE ESCAPE DE GASES DE COMBUSTIÓN

4.1. MARCO NORMATIVO APLICABLE

Según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), específicamente en la Norma Técnica de Edificaciones E.050 - Instalaciones Sanitarias se aborda las disposiciones técnicas para las instalaciones sanitarias en edificaciones, incluyendo la evacuación de gases y humos.

De acuerdo con esta norma, se estipula que las chimeneas y ductos de ventilación para gases de combustión y otros gases peligrosos deben extenderse a una altura adecuada para garantizar la evacuación segura de estos gases y evitar su reingreso al edificio o la afectación a edificios adyacentes.

Más específicamente dentro del artículo se estipula la altura de las salidas de gases que deben estar a una altura mínima de 5 metros sobre el punto más alto del edificio o de cualquier estructura adyacente que se encuentre a una distancia menor de 15 metros. Esto asegura una dispersión adecuada y minimiza los riesgos de contaminación y acumulación de gases nocivos.

4.2. CÁLCULO DE NÚMERO DE MATCH PARA DIÁMETROS DE TUBERÍA

Para garantizar una evacuación eficiente y segura de los gases de combustión generados por los grupos electrógenos ubicados en el nivel -2 de la casa de fuerza del CIIT-UCSM, se realizó un análisis detallado del comportamiento del flujo a través de ductos de distintas dimensiones. Este análisis incluye el cálculo del número de Mach, parámetro fundamental en dinámica de fluidos que permite determinar el régimen del flujo de gases y evaluar la posible existencia de efectos de compresibilidad que afecten el rendimiento del sistema de escape.

Parámetros de entrada

Según la ficha técnica del fabricante Caterpillar, los generadores seleccionados presentan un caudal de gases de escape de 115.1 m^3/min, lo que equivale aproximadamente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

a 1.918 m³/s. Este valor se utilizó como base para calcular la velocidad del flujo dentro de tuberías de distintos diámetros.

Justificación de los diámetros analizados

En base a la Norma Técnica E.050 – Instalaciones Sanitarias del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se establece que los conductos verticales de evacuación de gases de combustión deben aumentar su diámetro en 2 pulgadas por cada 20 metros de longitud ascendente. Esta recomendación tiene como finalidad reducir la pérdida de carga, facilitar la disipación del calor y evitar la acumulación o retroceso de gases peligrosos.

Según los datos brindados por la ficha técnica del proveedor Caterpillar para los generadores empleados el caudal de los gases de escape de nuestros equipos generadores es de 115.1 m^3/min. A continuación, se realizó el análisis para tres opciones de tubería circular estándar: de 8", 10" y 12" de diámetro interno siguiendo lo especificado en la norma.

4.2.1. Tuberías de 8" (0.2032 m)

Sección transversal de la tubería de 8":

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi \frac{0.2032^2}{4} = 0.0324\ m^2$$

Velocidad en la tubería de 8" de ingreso:

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{115.1\ \frac{m^3}{min}}{0.0324\ m^2} * \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$V = 59.21\ \frac{m}{seg}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cálculo de número de MACH

1.-Cálculo de la velocidad del sonido:

$$a = \sqrt{\varphi * R * T}$$

$$a = \sqrt{\frac{\varphi * R * T}{M}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1.4 * \left(8.314 \frac{J}{Mol * k}\right) * 293.15\ k}{0.029 \frac{kg}{mol}}}$$

$$a = 343 \frac{m}{s}$$

2.-Cálculo del número de Mach:

$$M = \frac{V}{a}$$

$$M = \frac{59.21 \frac{m}{seg}}{343 \frac{m}{seg}}$$

$$M = 0.17$$

4.2.2. Tuberías de 10" (0.254 m)

Sección transversal de la tubería de 10":

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi \frac{0.254^2}{4} = 0.05067\ m^2$$

Velocidad en la tubería de 10":

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{115.1 \frac{m^3}{min}}{0.05067\ m^2} * \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$V = 37.86 \frac{m}{seg}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cálculo de número de MACH

1.-Cálculo de la velocidad del sonido:

$$a = \sqrt{\varphi * R * T}$$

$$a = \sqrt{\frac{\varphi * R * T}{M}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1.4 * \left(8.314 \frac{J}{Mol * k}\right) * 293.15\ k}{0.029 \frac{kg}{mol}}}$$

$$a = 343 \frac{m}{s}$$

2.-Cálculo del número de Mach:

$$M = \frac{V}{a}$$

$$M = \frac{37.86 \frac{m}{seg}}{343 \frac{m}{seg}}$$

$$M = 0.11$$

4.2.3. Tuberías de 12" (0.3048 m)

Sección transversal de la tubería de 12":

$$A = \pi \frac{D^2}{4}$$

$$A = \pi \frac{0.3048^2}{4} = 0.07297\ m^2$$

Velocidad en la tubería de 12":

$$Q = V * A$$

$$V = \frac{115.1 \frac{m^3}{min}}{0.07297\ m^2} * \frac{1\ min}{60\ seg}$$

$$V = 26.29 \frac{m}{seg}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cálculo de número de MACH

1.-Cálculo de la velocidad del sonido:

$$a = \sqrt{\varphi * R * T}$$

$$a = \sqrt{\frac{\varphi * R * T}{M}}$$

$$a = \sqrt{\frac{1.4 * \left(8.314 \frac{J}{Mol * k}\right) * 293.15\, k}{0.029 \frac{kg}{mol}}}$$

$$a = 343 \frac{m}{s}$$

2.-Cálculo del número de Mach:

$$M = \frac{V}{a}$$

$$M = \frac{26.29 \frac{m}{seg}}{343 \frac{m}{seg}}$$

$$M = 0.077$$

4.2.4. Interpretación de resultados

Según la clasificación de flujos en función del número de Mach:

- M < 0.3 → Flujo Incompresible, con densidad constante.
- 0.3 < M < 1 → Flujo Subsónico
- 0.8 < M < 1.2 → Flujo Sónico
- 1.2 < M < 5 → Flujo Supersónico, se empiezan a generar ondas de choque
- M > 5 → Flujo Hipersónico

Todos los valores calculados se encuentran por debajo de 0.3, por lo tanto, el flujo de gases de combustión se comporta como incompresible en los tres escenarios, lo cual es ventajoso porque:

- No se requiere compensar efectos de compresibilidad.
- Las pérdidas de presión se mantienen controladas.
- Se minimizan los riesgos de turbulencia o vibración.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Además, la disminución progresiva del número de Mach con el aumento del diámetro demuestra la eficacia del escalonamiento de tubería conforme a la altura, validando así el criterio normativo y técnico empleado.

4.3. MODELAMIENTO CON PARÁMETROS DE: FLUJO, CAÍDA DE PRESIÓN Y CALIDAD DE GASES DE COMBUSTIÓN

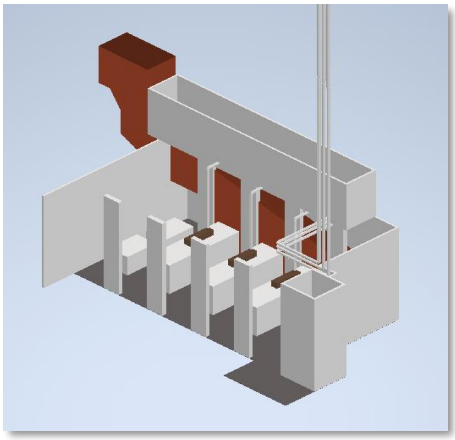
Para el diseño del sistema de escape de gases de combustión de los grupos electrógenos, se realizó un modelamiento detallado que consideró los parámetros críticos de flujo, caída de presión y calidad de los gases. El objetivo fue garantizar una evacuación eficiente y segura de los gases, minimizando las pérdidas de energía y asegurando el cumplimiento de las normativas ambientales.

El proceso de modelamiento se llevó a cabo utilizando software especializado, permitiendo visualizar el comportamiento de los gases a lo largo del sistema de escape. Este análisis fue fundamental para validar los cálculos previos de número de Mach y seleccionar el diámetro de tubería óptimo que permitiera un flujo adecuado con pérdidas de presión controladas. Además, este modelamiento corroboró que no existe una alta pérdida de presión, ya que el número de Mach se mantiene alejado de 1, y se verificó la correcta expansión de la tubería a medida que se acerca a su salida por la parte superior del edificio.

El esquema de distribución de las tuberías de escape, que se presenta en la (Figura 4.1) de esta sección, representa el diseño final y definitivo del sistema.

Figura 4.1

Propuesta de distribución final



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Este diseño fue el resultado de un proceso de optimización que consideró la integración con la estructura general de la casa de fuerza y las condiciones de operación de los generadores.

Una característica clave del diseño es la configuración de doble piso de la casa de fuerza, la cual introduce desafíos específicos para la evacuación de los gases de combustión. El sistema de escape debe ascender desde la ubicación de los generadores en el sótano hasta el exterior del edificio, lo que implica trayectorias verticales y horizontales que influyen directamente en la dinámica del flujo.

Para el proceso de simulación, se tomaron en cuenta parámetros de rugosidad inherentes al material de la tubería de escape, siendo esta de acero negro debido a las altas temperaturas que debe soportar. Asimismo, se consideró el cambio de sección a medida que la tubería asciende hacia la parte más alta del edificio. Esta consideración se basó en la Norma Técnica E.050 - Instalaciones Sanitarias del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), que indica un aumento de 2 pulgadas cada 20 metros de longitud ascendente en el diámetro de la tubería. Aunque las normas específicas pueden variar, esta práctica común en el diseño de sistemas de ventilación y evacuación de gases asegura una adecuada dispersión y evita la acumulación de gases.

Para el análisis de la caída de presión y el comportamiento del flujo, se identificó que la tubería más larga dentro del sistema de escape es la más crítica. Esta tubería, debido a su mayor longitud (aproximadamente 67 m para el caso del generador 1, el más alejado a la zona de descarga) y, por ende, a una mayor resistencia al flujo por fricción y las pérdidas inherentes a los cambios de dirección (codos y transiciones), experimentará la mayor caída de presión total. Al dimensionar y verificar el rendimiento para la tubería más crítica, se asegura que todo el sistema de escape, incluyendo las tuberías más cortas y con menor resistencia, operará de manera eficiente y dentro de los parámetros de diseño aceptables.

En el escenario más crítico (generador 1, el más alejado), se obtuvo un diferencial de presión de 3502.43 Pa, lo que confirma la ausencia de caídas de presión considerables, según el modelamiento en SolidWorks. El modelamiento demostró cómo el flujo aumenta su presión en la sección media debido a los cambios de dirección, pero luego nuevamente

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

reduce su presión al entrar en el tramo de salida del escape, prácticamente a presión ambiente.

Los resultados del modelamiento permitieron observar el perfil de velocidad y la distribución de presión a lo largo de las tuberías. En el escenario final, se corroboró que la velocidad del flujo de los gases de combustión, si bien iniciaba con un promedio de 63 m/s a la salida de los generadores, se reducía progresivamente a medida que recorría la tubería, terminando a alrededor de 10 m/s. Esta velocidad final se considera adecuada, ya que, según la escala de Beaufort, no supera la velocidad de una "brisa fresca", minimizando así el impacto en el entorno y evitando molestias.

4.4. CONFIGURACIÓN FINAL DEL SISTEMA DE ESCAPE

La configuración final del sistema de escape de gases de combustión fue determinada a partir del modelamiento técnico y del análisis normativo previamente desarrollados. Esta configuración busca garantizar una evacuación eficiente, segura y continua de los gases emitidos por los grupos electrógenos instalados en el nivel -2 del recinto. Dada la potencia de los generadores empleados (800 kVA), el flujo másico de gases de combustión alcanza un valor significativo, estimado en 115.1 m^3/min (equivalente a 1.92 m^3/s) a una temperatura aproximada de 455 °C, lo cual implica un diseño robusto que minimice pérdidas de presión y permita una disipación térmica gradual a lo largo del recorrido.

El sistema está compuesto por ductos individuales de escape para cada generador, los cuales se elevan desde el nivel inferior de la casa de fuerza hasta alcanzar el punto de descarga en el exterior del edificio. Durante el proceso de diseño, se optó por emplear tuberías de acero negro, dadas sus propiedades mecánicas y térmicas, incluyendo alta resistencia a temperaturas elevadas y durabilidad frente a la corrosión.

Uno de los criterios fundamentales que guió el dimensionamiento de las tuberías fue la necesidad de evitar el reingreso de gases al edificio y de asegurar una dispersión efectiva en el entorno, de acuerdo con lo establecido en la Norma Técnica E.050 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), que señala que las salidas de gases deben alcanzar una altura mínima de 5 metros por encima del punto más alto del edificio o estructura adyacente situada a menos de 15 metros de distancia.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Adicionalmente, como se mencionó anteriormente, se aplicó la recomendación de aumentar el diámetro del ducto en 2 pulgadas cada 20 metros de recorrido vertical para evitar pérdidas por fricción y permitir una expansión natural del flujo a medida que asciende. Esto se tradujo en una configuración progresiva que comienza con tuberías de 8”, continuando en ciertos tramos intermedios con tuberías de 10”, y finalizando en los tramos de descarga con tuberías de 12”, conforme al total del recorrido vertical estimado para el generador más alejado.

La disposición final de estas tuberías responde también a las restricciones espaciales propias de un diseño en doble sótano, por lo que las trayectorias se diseñaron considerando los menores radios de curvatura posibles, un número mínimo de codos y una ubicación estratégica de los ductos para evitar interferencias con otros sistemas auxiliares (ventilación, aire comprimido, etc.).

La correcta disposición y el dimensionamiento progresivo de los ductos aseguran que la velocidad del flujo se mantenga dentro de rangos seguros y eficientes. Tal como fue validado mediante simulación, el flujo se comporta como incompresible, lo que confirma la validez de los criterios hidráulicos empleados. Además, se proyecta una reducción significativa de la temperatura y velocidad del gas antes de su descarga, mitigando cualquier impacto térmico o sonoro sobre el entorno.

La Figura 4.1 presentada anteriormente recoge el esquema final de distribución de los ductos de escape, reflejando la disposición tridimensional dentro del recinto y su integración al conjunto arquitectónico general. Esta configuración fue validada no solo a nivel de cálculo, sino también mediante modelado computacional, cuyos resultados se desarrollarán en los escenarios simulados que se presentan a continuación.

4.4.1. Escenario 1

En primera instancia se planteó el escenario más crítico a evaluar siendo el caso del generador 1, el más alejado a la zona de descarga con (74 m de longitud aproximadamente), se obtuvo un diferencial de presión de 3502.43 Pa lo cual confirma la ausencia (turbulencia) de caídas de presión considerables, el modelamiento en solidworks (Figura 4.2) demuestra cómo es que el flujo aumenta su presión en la sección media debido a los cambios de

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

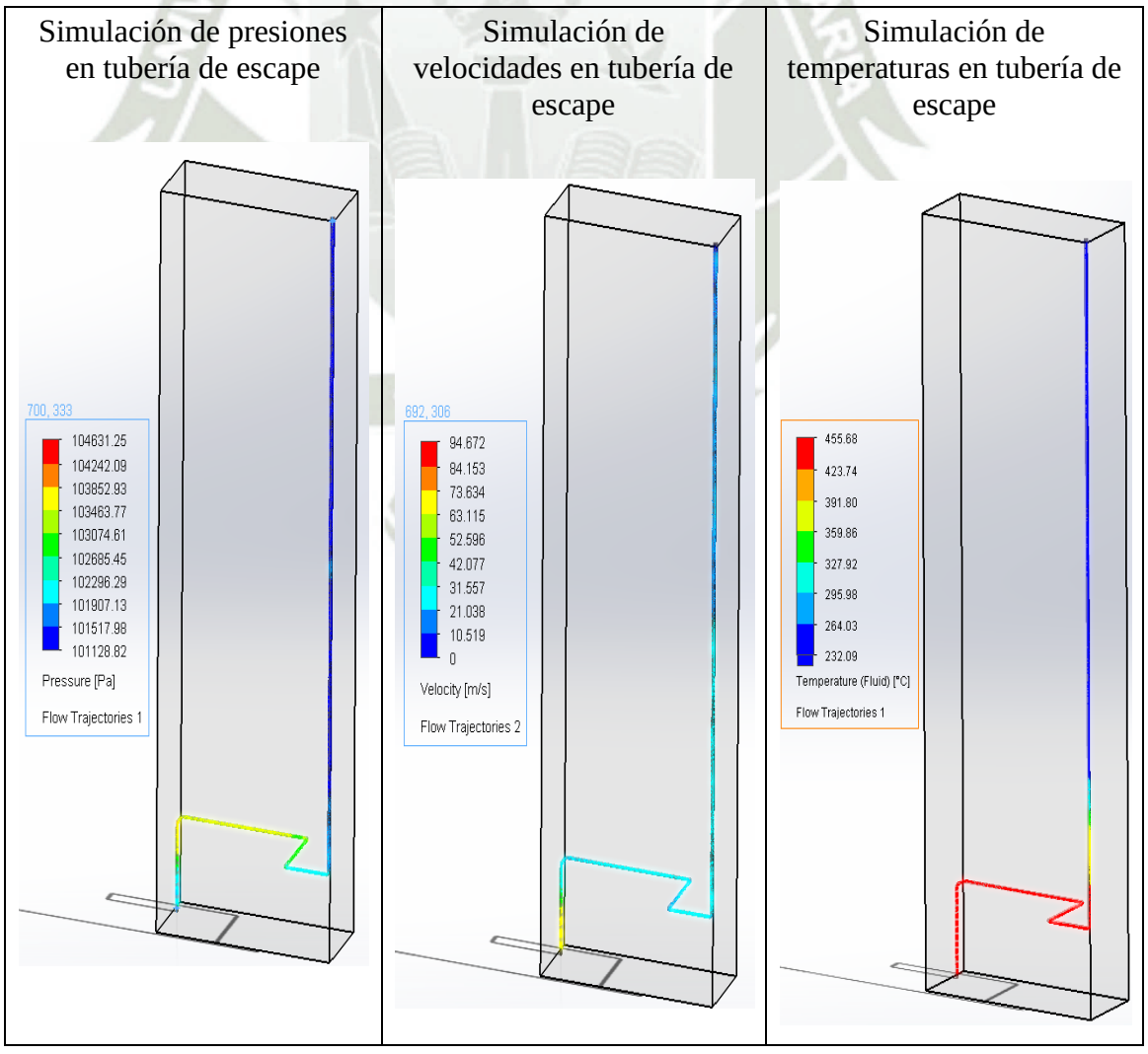
dirección pero luego nuevamente reduce su presión al entrar en el tramo de salida del escape prácticamente a presión ambiente.

Respecto a la velocidad del flujo como se observa en la figura 4.2 se puede apreciar que se va reduciendo a medida que recorre la tubería iniciando con un promedio de 63 m/s y terminando a alrededor de 10 m/s que según la escala de Beaufort no supera la velocidad de una brisa fresca.

Finalmente, en cuanto a la temperatura, se puede observar en la figura 4.2 un rápido descenso de esta en el tramo vertical de la tubería, lo que desemboca en una temperatura de aproximada de 230°C, significativamente menor a la de la entrada.

Figura 4.2

Simulaciones de presión, velocidad y temperatura del escenario 1



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

4.4.2. Escenario 2

En primera instancia se planteó el escenario más crítico a evaluar siendo el caso del generador 1, el más alejado a la zona de descarga con (Aproximadamente 67 m de longitud), se obtuvo un diferencial de presión de 3502.43 Pa lo cual confirma la ausencia (turbulencia) de caídas de presión considerables, el modelamiento en solidworks (Figura 4.3) demuestra cómo es que el flujo aumenta su presión en la sección media debido a los cambios de dirección pero luego nuevamente reduce su presión al entrar en el tramo de salida del escape prácticamente a presión ambiente.

Respecto a la velocidad del flujo como se observa en la figura 4.3 se puede apreciar que se va reduciendo a medida que recorre la tubería iniciando con un promedio de 63 m/s y terminando a alrededor de 10 m/s que según la escala de Beaufort no supera la velocidad de una brisa fresca.

Finalmente, en cuanto a la temperatura, se puede observar en la figura 4.3 un descenso al igual que en el escenario anterior en el tramo vertical de la tubería, lo que desemboca en una temperatura de aproximadamente 300°C, debido a la menor longitud de tubería respecto al anterior tramo.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

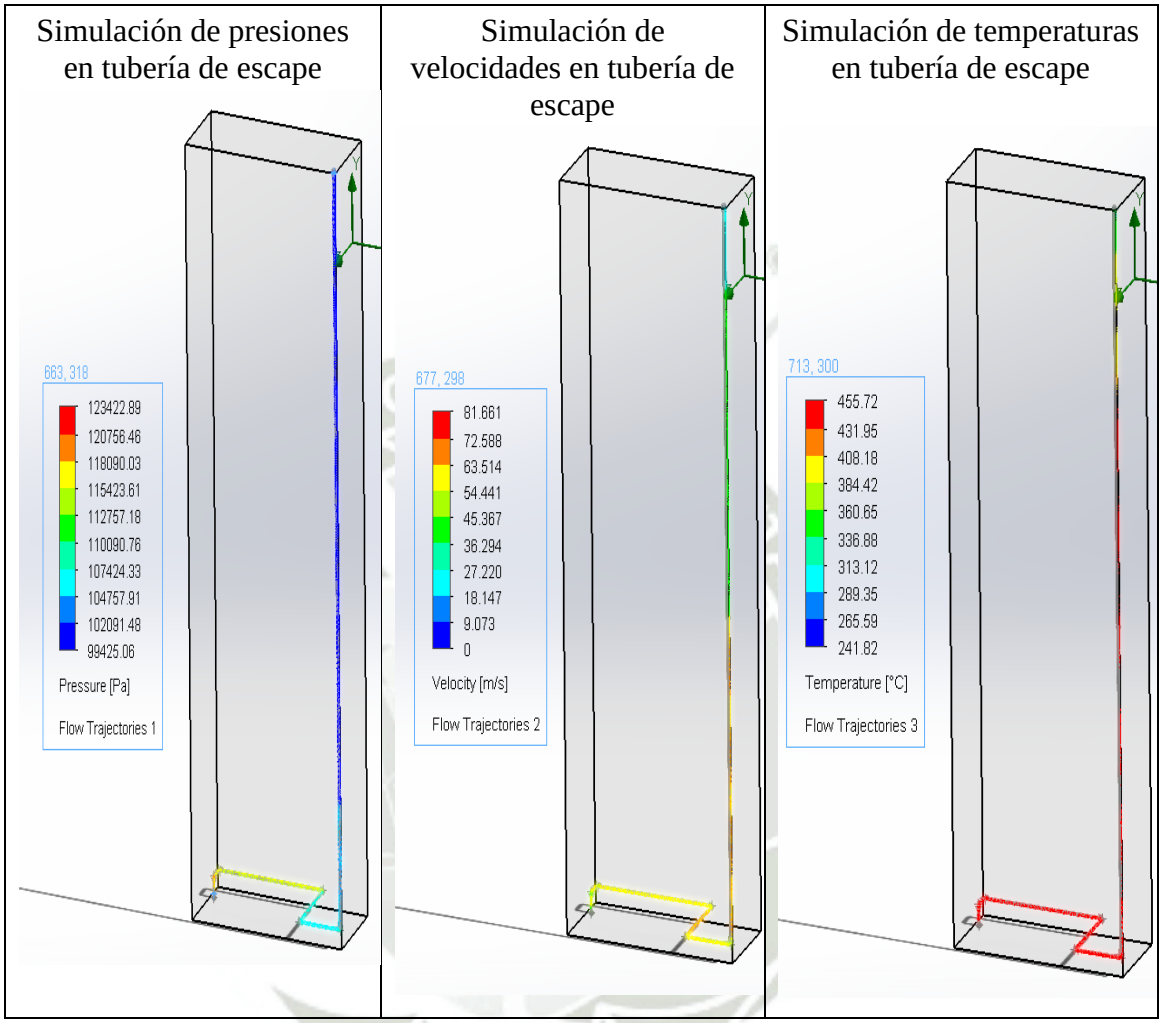
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 4.3

Simulaciones de presión, velocidad y temperatura del escenario 2



4.4.3. Escenario 3

En primera instancia se planteó el escenario más crítico a evaluar siendo el caso del generador 1, el más alejado a la zona de descarga con (60 m de longitud aproximadamente), se obtuvo un diferencial de presión de 3502.43 Pa lo cual confirma la ausencia (turbulencia) de caídas de presión considerables, el modelamiento en solidworks (Figura 4.4) demuestra cómo es que el flujo aumenta su presión en la sección media debido a los cambios de dirección pero luego nuevamente reduce su presión al entrar en el tramo de salida del escape prácticamente a presión ambiente.

Respecto a la velocidad del flujo como se observa en la figura 4.4 se puede apreciar que se va reduciendo a medida que recorre la tubería iniciando con un promedio de 63 m/s

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

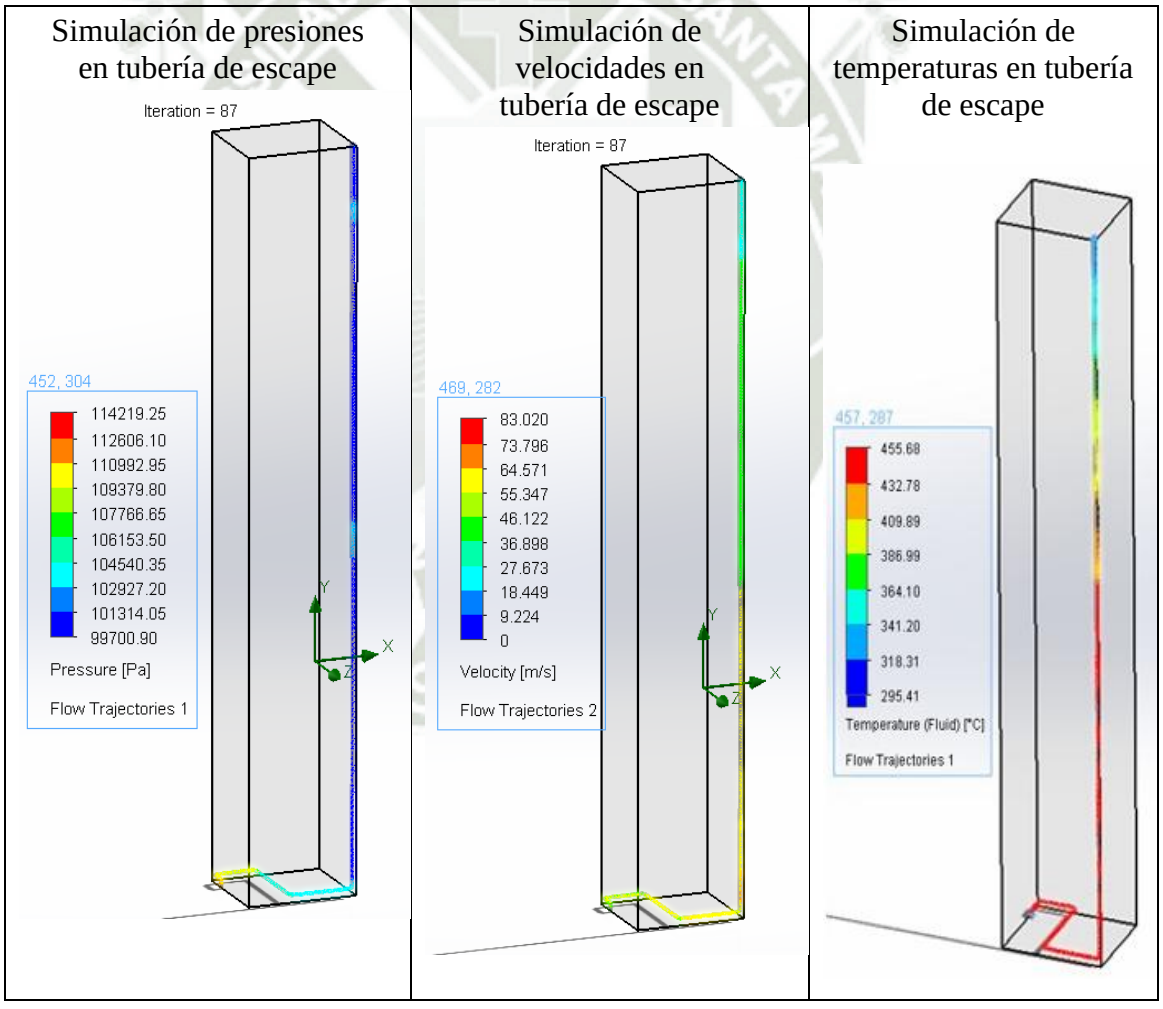
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

y terminando a alrededor de 10 m/s que según la escala de Beaufort no supera la velocidad de una brisa fresca.

Finalmente, en cuanto a la temperatura, se puede observar en la figura 4.4 un descenso al igual que en los escenarios anteriores en el tramo vertical de la tubería, lo que desemboca en una temperatura de aproximada de 318°C, debido a la menor longitud de tubería respecto al anterior tramo.

Figura 4.4

Simulaciones de presión, velocidad y temperatura del escenario 3



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

CAPÍTULO V

DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE DE ENFRIAMIENTO

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

5. DISEÑO DEL SISTEMA DE AIRE DE ENFRIAMIENTO

5.1. MODELAMIENTO 3D DEL RECINTO CON MOVIMIENTO DE AIRE

El diseño del sistema de aire de enfriamiento es fundamental para asegurar la operación óptima y la longevidad de los equipos generadores y compresores en el centro de investigación e innovación tecnológica CIIT-UCSM. Este capítulo detalla el proceso de modelamiento y simulación tridimensional (3D) del recinto en SolidWorks, lo que permitió analizar el comportamiento del flujo de aire bajo diversas configuraciones y optimizar la distribución térmica. El objetivo principal fue lograr una evacuación eficiente del calor disipado, manteniendo condiciones adecuadas de temperatura en el sótano y garantizando una velocidad de salida del aire controlada al exterior, comparable a una brisa ligera según la escala de Beaufort.

Para el análisis, se consideró la carga térmica total generada por los tres grupos electrógenos Caterpillar DE800S GC y los tres compresores Atlas Copco (un GA11 y dos SF11). La carga térmica total generada por estos equipos asciende a 1532.7 kW, la cual debe ser disipada por el sistema de ventilación.

La entrada de aire fresco al sótano se realiza a través de amplias aberturas ubicadas en una zanja libre adyacente al exterior, con un área total de 97.2 m^2. Estas aberturas aseguran un suministro generoso de aire. Por otro lado, la evacuación del aire caliente se concentra en un cuarto de escape de aire de refrigeración, el cual tiene una boca de salida final de 2 m x 3.25 m (6.5 m^2).

A través de las simulaciones en SolidWorks, se determinó que el caudal de aire evacuado por esta boca de salida específica es de 16.25 m^3/s, logrando una velocidad de salida de 2.5 m/s. Este caudal es el encargado de remover la totalidad de la carga térmica del recinto. Es importante destacar que el cuarto de escape solo tiene conectados los ductos provenientes directamente de los generadores y compresores, concentrando así el flujo de aire de enfriamiento de estos equipos en un punto de descarga.

A continuación, se describen los escenarios de simulación y los resultados clave que condujeron al diseño final.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

5.1.1. Simulación 1

En la primera simulación realizada se plantearon entradas de aire con deflectores dispuestos verticalmente de tal manera que desplazase el aire hacia la izquierda derivando el flujo a la zona de descarga, a continuación, se muestran los escenarios que se tienen dependiendo del uso de los equipos generadores y compresores.

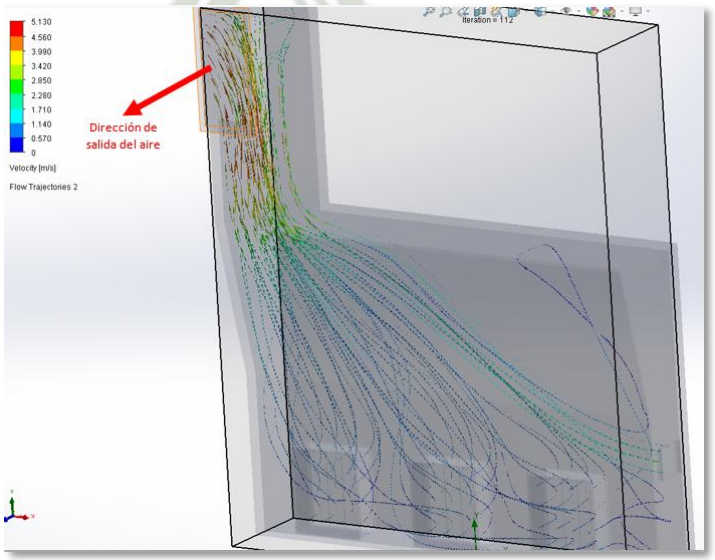
Como datos relevantes se tiene que las entradas de aire de cada generador son de 2.2mx2.6m cada una, la entrada para los 3 compresores es de 1mx1m y la salida principal de aire cuenta con 2mx4m. Además de 3 deflectores en cada entrada de cada uno a 25° de inclinación

1) Escenario 1

En este primer escenario (Figura 5.1 y Figura 5.2) se puede observar a los 3 generadores de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s. Además, la salida de aire al exterior está direccionada hacia el frente respecto al muro de división del terreno como indica la fleca en la gráfica.

Figura 5.1

Escenario 1 con velocidad del flujo de aire-3 generadores y compresores operando



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

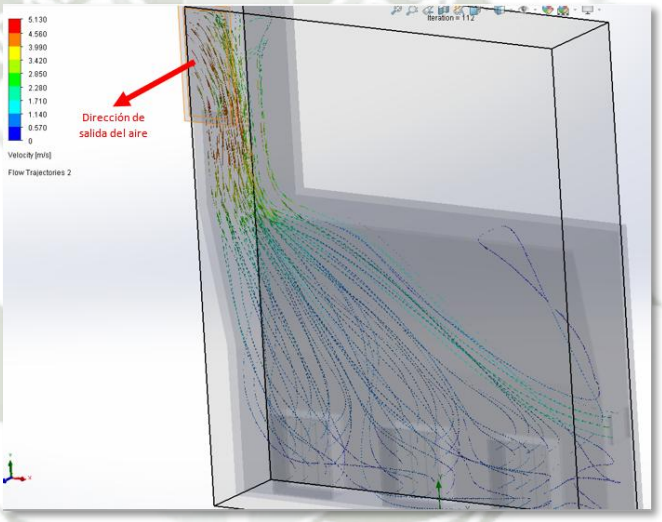
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Como se aprecia en la simulación (Figura 5.1) el flujo se acelera de 1.140 m/s a 4.560 m/s aproximadamente a medida que llega a la salida principal de 2x4m debido a la reducción de volumen considerable, por otro lado, se aprecia que el flujo de salida de aire de los generadores en el punto cercano a la salida de aire de los compresores es de casi 0 m/s lo cual confirma que en este caso el flujo proveniente de los generadores no intentaría entrar de manera forzada a la zona de descarga de los compresores.

Figura 5.2

Escenario 1 con presiones del flujo de aire- 3 generadores y compresores operando



De igual forma, respecto a la simulación de presiones realizada (Figura 5.2), se puede observar que la diferencia de presiones máxima encontrada es de 21.54 pascales que como veremos en cálculos posteriores cumple con que la potencia eléctrica del motor sea mayor a la potencia hidráulica entre la eficiencia.

2) Escenario 2

En este segundo escenario se puede observar al primer generador de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

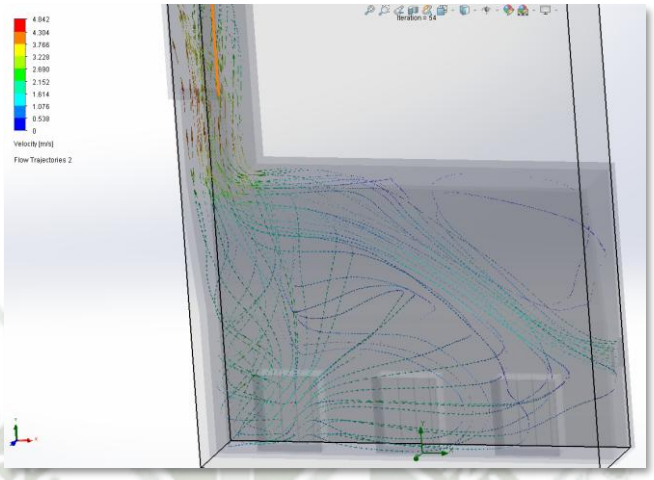
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5.3

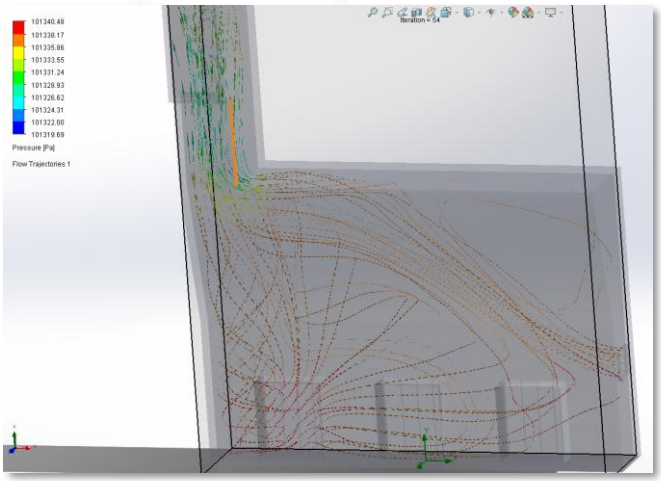
Escenario 2 con velocidad del flujo de aire-generador 1 y compresores operando



Como se aprecia en la simulación (Figura 5.3) el flujo se acelera de 1.614 m/s a 4.842 m/s a medida que llega a la salida principal de 2x4m debido a la reducción de volumen considerable, por otro lado, se aprecia que el flujo de salida de aire de los generadores en el punto cercano a la salida de aire de los compresores es de casi 0 m/s lo cual confirma que en este caso el flujo proveniente del generador no intentaría entrar de manera forzada a la zona de los compresores. Existen vórtices pronunciados, pero estos tienen una velocidad muy baja, casi nula.

Figura 5.4

Escenario 2 con presiones del flujo de aire-generador 1 y compresores operando



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

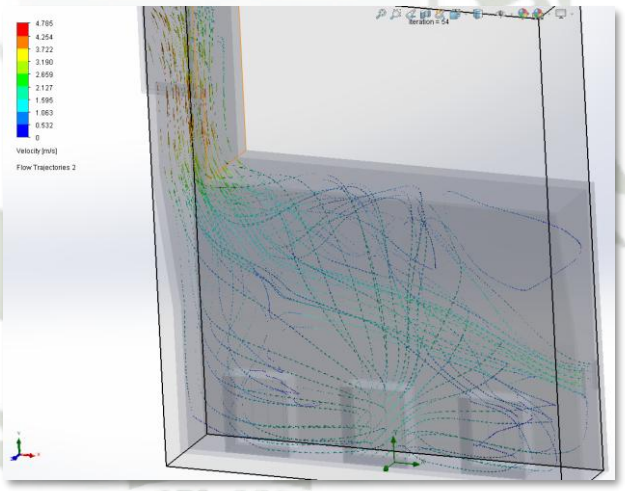
De igual forma, respecto a la simulación de presiones realizada (Figura 5.4), se puede observar que la diferencia de presiones máxima encontrada es de 20.79 pascales que como veremos en cálculos posteriores cumple con que la potencia eléctrica del motor sea mayor a la potencia hidráulica entre la eficiencia.

3) Escenario 3

En este tercer escenario se puede observar al segundo generador de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.5

Escenario 3 con velocidad del flujo de aire-generador 2 y compresores operando



Como se aprecia en la simulación el flujo (Figura 5.5) se acelera de 1.063 m/s a 4.254 m/s a medida que llega a la salida principal de 2x4m debido a la reducción de volumen considerable, por otro lado, se aprecia que el flujo de salida de aire de los generadores en el punto cercano a la salida de aire de los compresores es de casi 0 m/s lo cual confirma que en este caso el flujo proveniente del generador no intentaría entrar de manera forzada a la zona de los compresores. Existen vórtices pronunciados, pero estos tienen una velocidad muy baja, casi nula.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

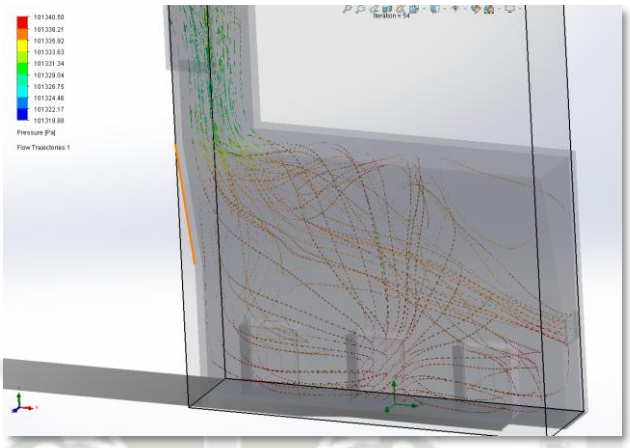
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 5.6

Escenario 3 con presiones del flujo de aire-generador 2 y compresores operando



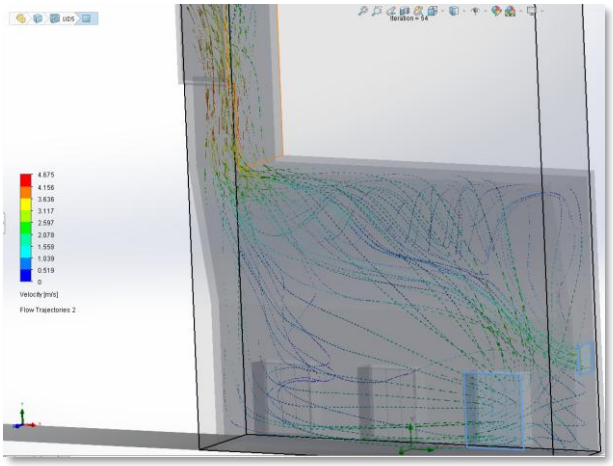
De igual forma, respecto a la simulación de presiones realizada (Figura 5.6), se puede observar que la diferencia de presiones máxima encontrada es de 20.62 pascales que como veremos en cálculos posteriores cumple con que la potencia eléctrica del motor sea mayor a la potencia hidráulica entre la eficiencia.

4) Escenario 4

En este segundo escenario se puede observar al segundo generador de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.7

Escenario 4 con velocidad del flujo de aire-generador 3 y compresores operando



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

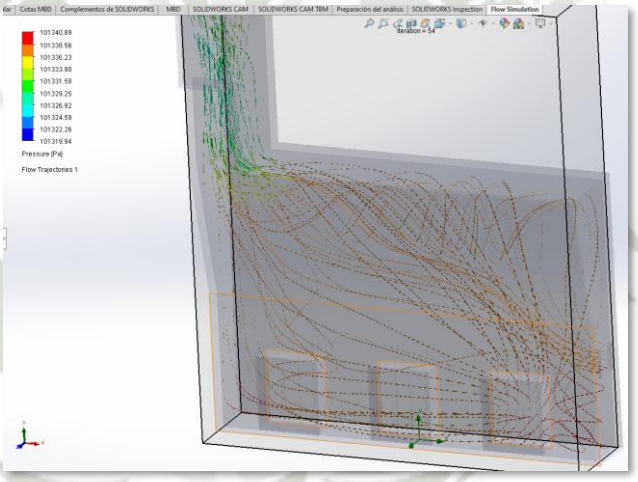
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Como se aprecia en la simulación el flujo (Figura 5.7) se acelera de 1.614 m/s a 4.842 m/s a medida que llega a la salida principal de 2x4m debido a la reducción de volumen considerable, por otro lado, se aprecia que el flujo de salida de aire de los generadores en el punto cercano a la salida de aire de los compresores es de casi 0 m/s lo cual confirma que en este caso el flujo proveniente del generador no intentaría entrar de manera forzada a la zona de los compresores. Existen vórtices pronunciados, pero estos tienen una velocidad muy baja, casi nula.

Figura 5.8

Escenario 4 con presiones del flujo de aire-generador 3 y compresores operando



De igual forma, respecto a la simulación de presiones realizada (Figura 5.8), se puede observar que la diferencia de presiones máxima encontrada es de 20.95 pascales que como veremos en cálculos posteriores cumple con que la potencia eléctrica del motor sea mayor a la potencia hidráulica entre la eficiencia.

5.1.2. Simulación 2

En esta segunda simulación realizada se plantearon entradas de aire dispuestas horizontalmente con una disposición que desplazase el aire hacia arriba con la intención de derivar el flujo a la zona superior, a continuación, se muestran los escenarios que se tienen dependiendo del uso de los equipos generadores y compresores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Como datos relevantes se tiene que las entradas de aire de cada generador son de 2.2mx2.6m cada una, la entrada para los 3 compresores es de 1mx1m y la salida principal de aire cuenta con 2mx4m.

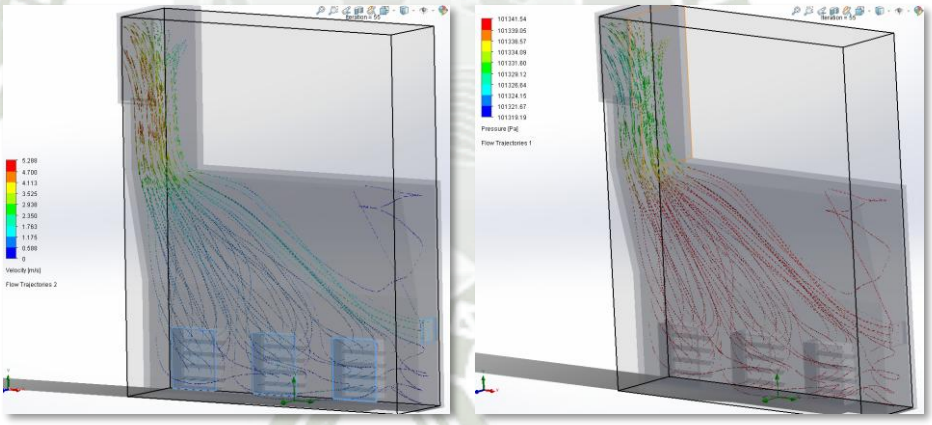
Además de 4 deflectores en cada entrada de cada uno a 51° de inclinación que luego serían reemplazados por 7 deflectores a 56°.

1) Escenario 1

En este primer escenario (Figura 5.9) se puede observar a los 3 generadores de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.9

Escenario 1 velocidad y presión del flujo de aire-a plena carga con 4 deflectores



En esta primera instancia al no observar mucha desviación del flujo hacia arriba, se optó por aumentar la inclinación de los álabes a 56° además de la cantidad de 4 a 7.

2) Escenario 2

En este segundo escenario (Figura 5.10) se puede observar a los 3 generadores de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

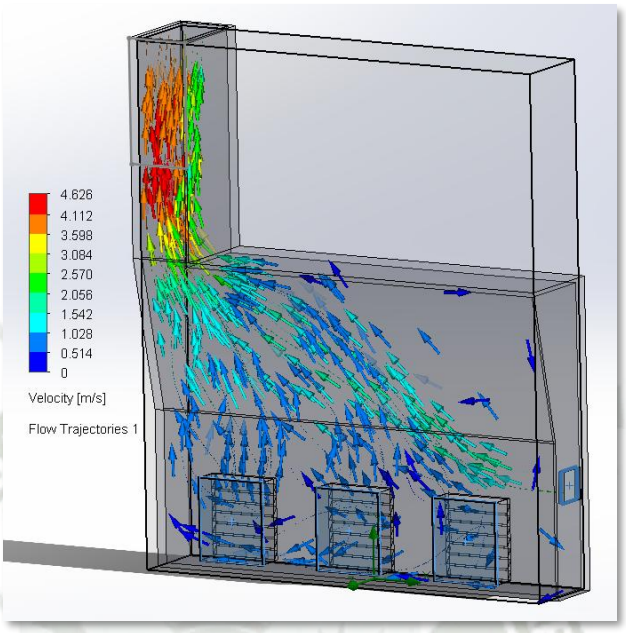
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 5.10

Escenario 2 velocidad del flujo de aire-a plena carga con 7 deflectores



Como se observa en la simulación al aumentar la cantidad de deflectores implementados la velocidad de flujo de salida se ve reducida debido a una mejor orientación de este, siendo un estimado de 4.1 m/s de velocidad máxima del aire.

5.1.3. Simulación 3

En esta tercera simulación realizada se mantuvieron las entradas de aire dispuestas horizontalmente para que desplazase el aire hacia arriba derivando el flujo a la zona superior, además se amplió en medio metro el área efectiva de salida y la descarga se da hacia el lado izquierdo como se muestra en la imagen, a continuación, se muestran los escenarios que se tienen dependiendo del uso de los equipos generadores y compresores.

Como datos relevantes se tiene que las entradas de aire de cada generador son de 2.2mx2.6m cada una, la entrada para los 3 compresores es de 1mx1m y la salida principal de aire cuenta con 2mx3.25m. Además, se usaron 7 deflectores para las salidas de aire de los generadores a 56° cada uno, como se observa en la Figura 5.11.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

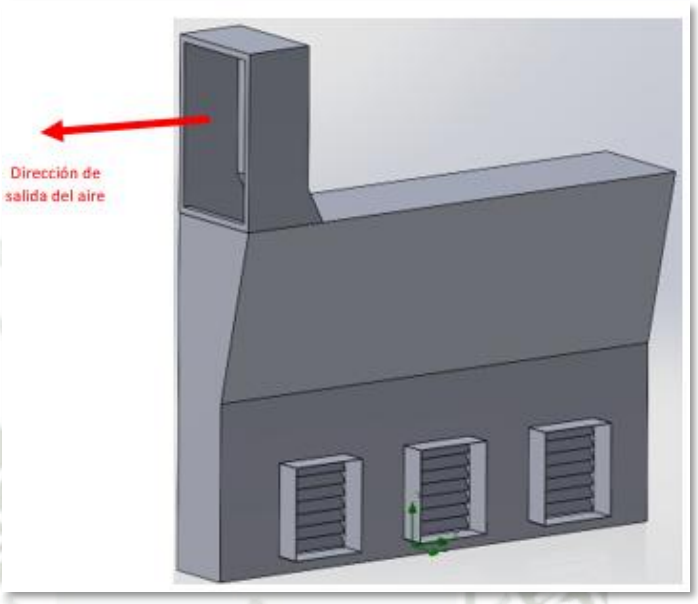
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5.11

Plenum modificado con salida de aire hacia la izquierda

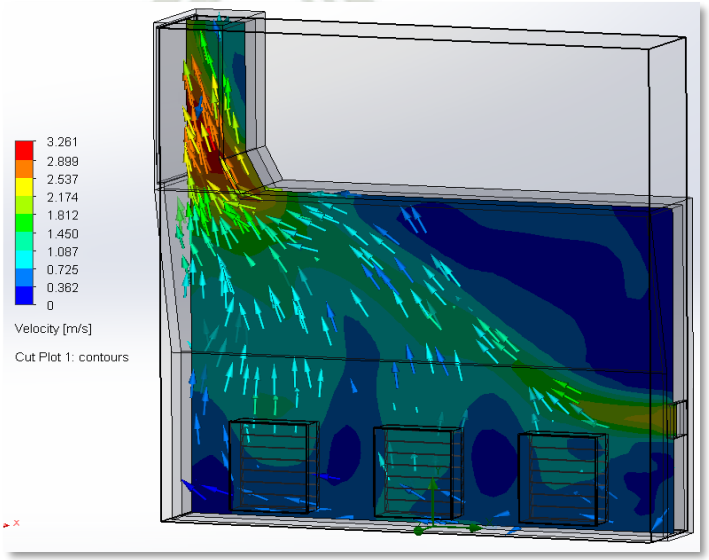


1) Escenario 1

En este primer escenario se puede observar a los 3 generadores de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.12

Escenario 1 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-a plena carga con 7 deflectores



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

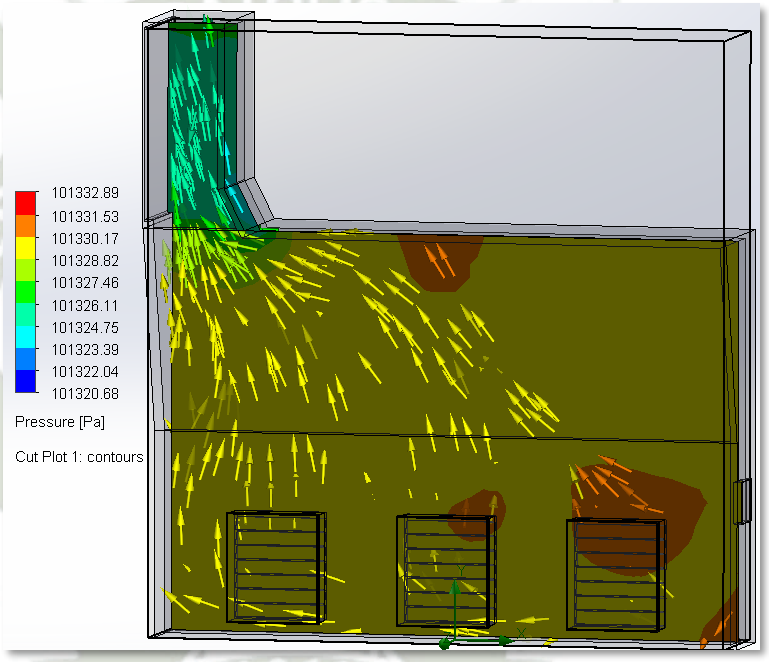
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En esta primera instancia se puede apreciar la disminución de la velocidad del flujo (Figura 5.12) a un promedio de 3 m/s como se muestra en las simulaciones, debido a que está mejor dirigido el aire y ya no genera tantos vórtices que aceleraban el flujo previamente, además, esta nueva orientación del escape al lado izquierdo permite que el ducto no se alce por encime del muro y aprovecha mejor el espacio usando el ancho de 3.25 metros.

Figura 5.13

Escenario 1 presiones del flujo de aire con apertura lateral-a plena carga con 7 deflectores



De igual forma, respecto a la simulación de presiones realizada (Figura 5.13), se puede observar que la diferencia de presiones máxima encontrada respecto al medio ambiental es de 7.89 pascales que como veremos en cálculos posteriores cumple con que la potencia eléctrica del motor sea mayor a la potencia hidráulica entre la eficiencia.

2) Escenario 2

En este segundo escenario se puede observar al generador 1 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

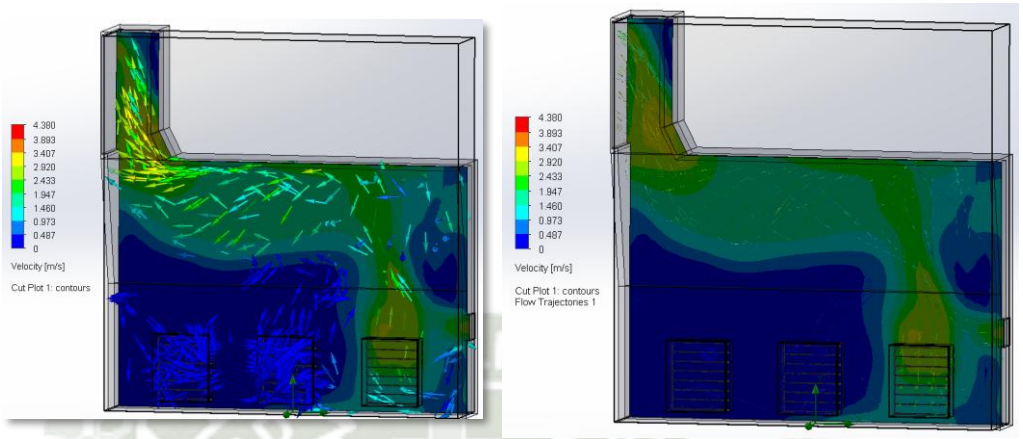
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 5.14

Escenario 2 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 encendido y compresores encendidos



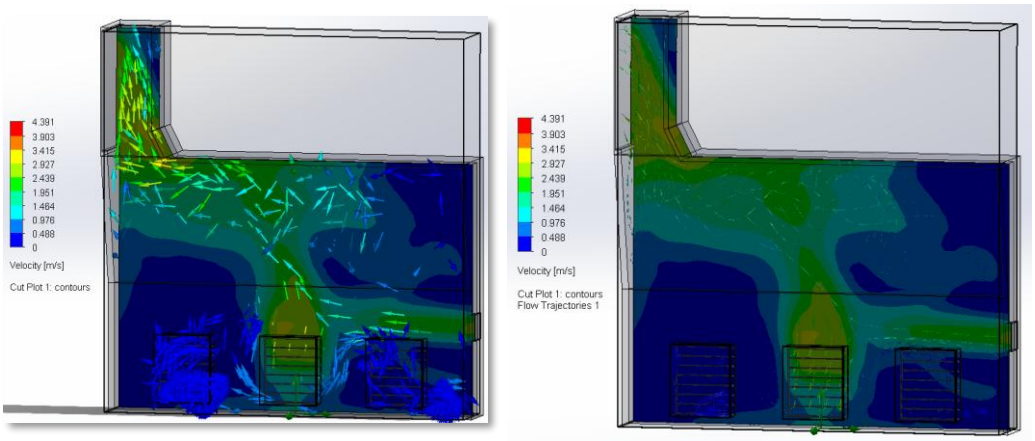
Como se observa en la simulación (Figura 5.14) los deflectores derivan el aire a la zona superior, sin embargo, el flujo se acelera a 3.4 m/s en promedio debido a los vórtices generados al interior.

3) Escenario 3

En este tercer escenario se puede observar al generador 2 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.15

Escenario 3 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 2 encendido y compresores encendidos



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

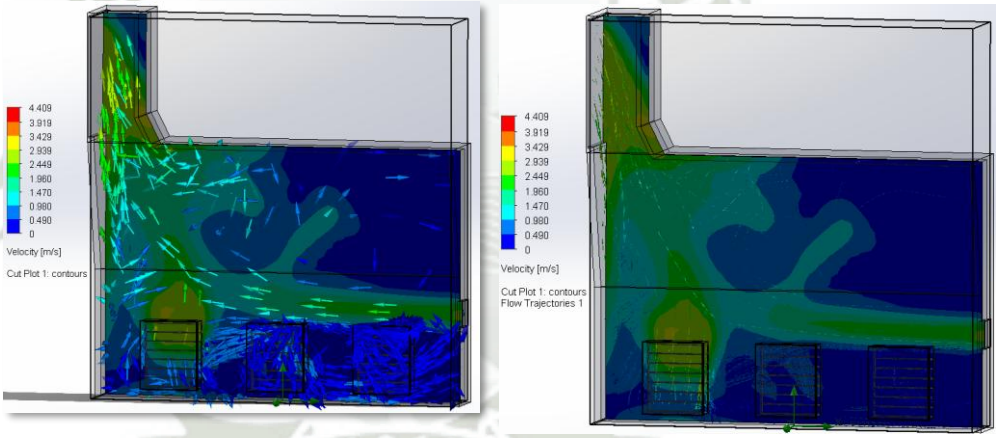
Como se observa en la simulación (Figura 5.15) los deflectores derivan el aire a la zona superior, sin embargo, el flujo se acelera a 3.4 m/s en promedio debido a los vórtices generados al interior.

4) Escenario 4

En este cuarto escenario (Figura 5.16) se puede observar al generador 3 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.16

Escenario 4 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 encendido y compresores encendidos



5.1.4. Simulación 4

En esta cuarta simulación realizada tomando en cuenta las mejoras obtenidas con deflectores horizontales y verticales se plantearon entradas de aire dispuestas a 50° respecto al eje horizontal para las salidas de aire de los generadores 1 y 2 direccionando el flujo hacia la salida de una mejor manera para desplazar el aire directamente a la zona de descarga, a continuación, se muestran los escenarios que se tienen dependiendo del uso de los equipos generadores y compresores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

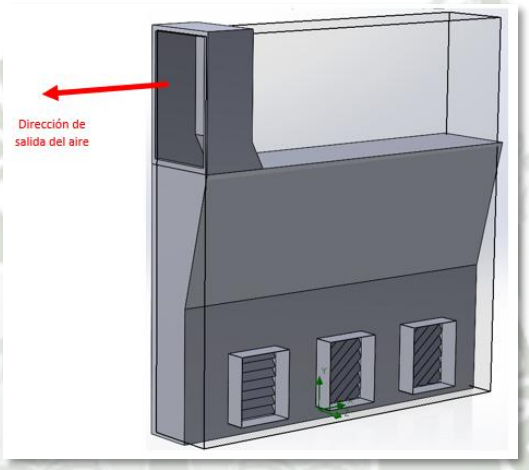
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Como datos relevantes se tiene que las entradas de aire de cada generador son de 2.2mx2.6m cada una, la entrada para los 3 compresores es de 1mx1m y la salida principal de aire cuenta con 2mx3.25m, como se observa en la Figura 5.17.

Se cuenta con 9 deflectores con una inclinación de 50° hacia la descarga en las salidas de aire de los generadores 1 a 2, además de 7 deflectores horizontales en la salida del generador 3, todos los deflectores tienen una inclinación de 56°.

Figura 5.17

Modelo 3D del Plenum actualizado

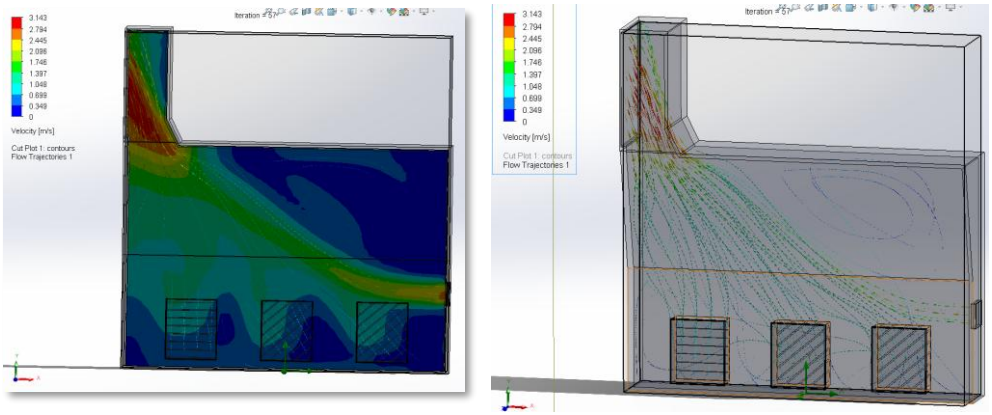


1) Escenario 1

En este primer escenario se puede observar a los 3 generadores de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.18

Escenario 1 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generadores a plena carga y compresores encendidos



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

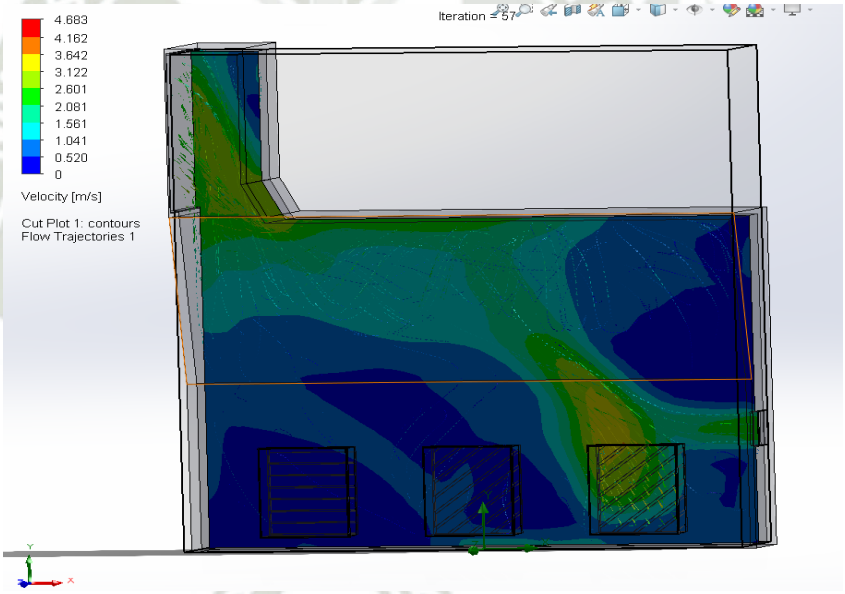
Como se observa con las mejoras realizadas el flujo se ve desacelerado correctamente (Figura 5.18) a una velocidad promedio de 2.794 m/s debido a la reducción de los vórtices durante el movimiento del aire.

2) Escenario 2

En este segundo escenario se puede observar al generador 1 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.19

Escenario 2 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 encendido y compresores encendidos



Como se observa al trabajar con un solo generador y todos los compresores, al ser áreas efectivas similares tanto las entradas de aire al plenum como la salida principal, el aire mantiene una velocidad similar tanto a la entrada como a la salida de 2.8 m/s (Figura 5.19).

3) Escenario 3

En este tercer escenario se puede observar al generador 2 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

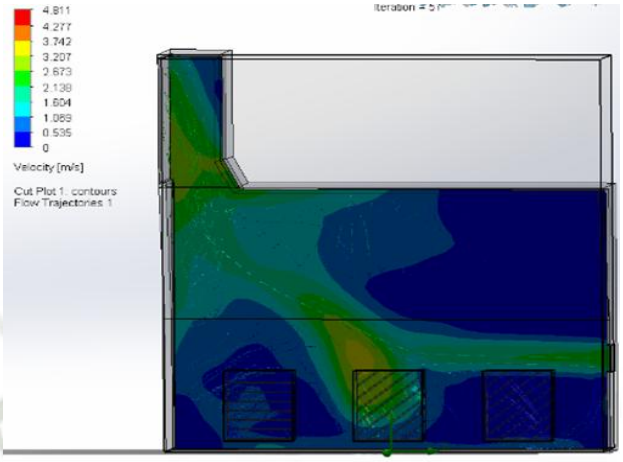
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Figura 5.20

Escenario 3 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 2 encendido y compresores encendidos



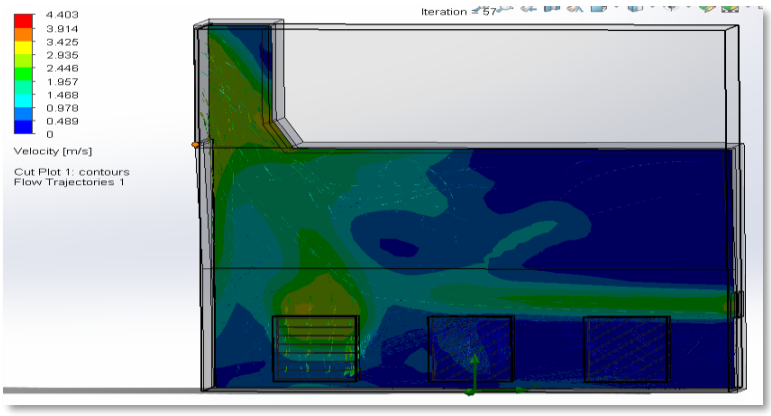
Como se observa al trabajar con un solo generador y todos los compresores, al ser áreas efectivas similares tanto las entradas de aire al plenum como la salida principal, el aire mantiene una velocidad similar tanto a la entrada como a la salida de 2.673 m/s (Figura 5.20).

4) Escenario 4

En este cuarto escenario se puede observar al generador 3 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.21

Escenario 4 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 3 encendido y compresores encendidos



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

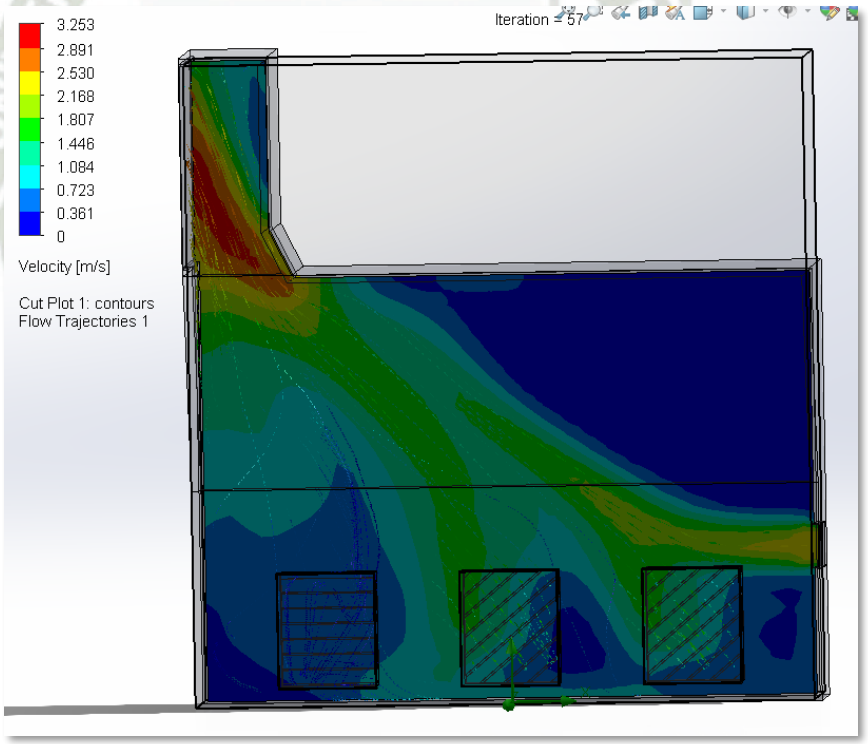
Como se observa al trabajar con un solo generador y todos los compresores, al ser áreas efectivas similares tanto las entradas de aire al plenum como la salida principal, el aire mantiene una velocidad similar tanto a la entrada como a la salida de 2.446 m/s (Figura 5.21).

5) Escenario 5

En este quinto escenario se puede observar a los generadores 1 y 2 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.22

Escenario 5 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 y 2 encendidos y compresores encendidos



Como se observa al trabajar con 2 generadores y todos los compresores, se obtiene una velocidad de salida promedio de 2.891 m/s (Figura 5.22) que sigue siendo muy aceptable según la escala de Beaufort.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

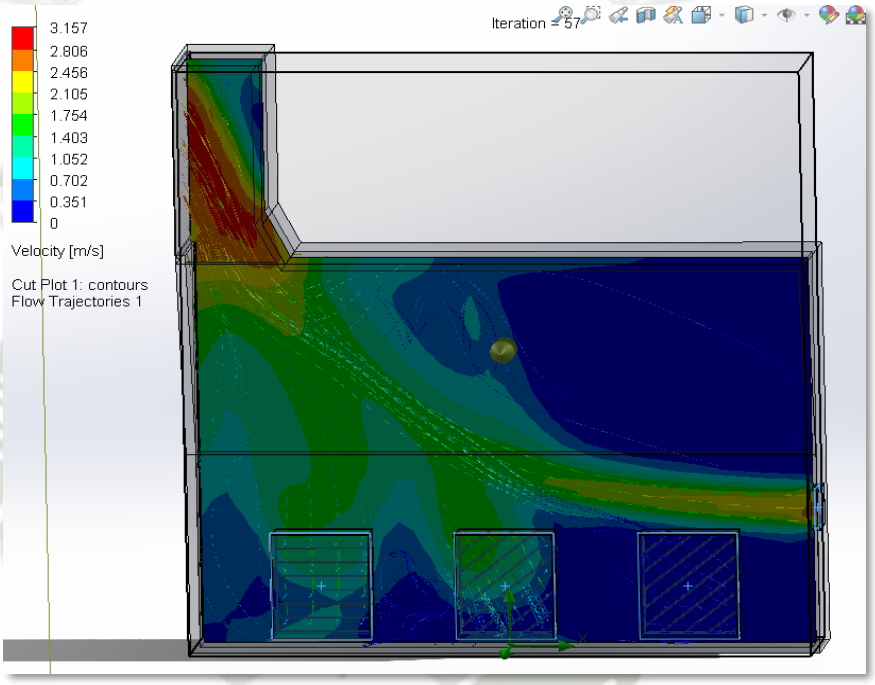
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

6) Escenario 6

En este sexto escenario se puede observar a los generadores 2 y 3 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.23

Escenario 6 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 2 y 3 encendidos y compresores encendidos



Como se observa al trabajar con 2 generadores y todos los compresores, se obtiene una velocidad de salida promedio de 2.806 m/s (Figura 5.23) que sigue siendo muy aceptable según la escala de Beaufort.

7) Escenario 7

En este séptimo escenario se puede observar a los generadores 1 y 3 de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

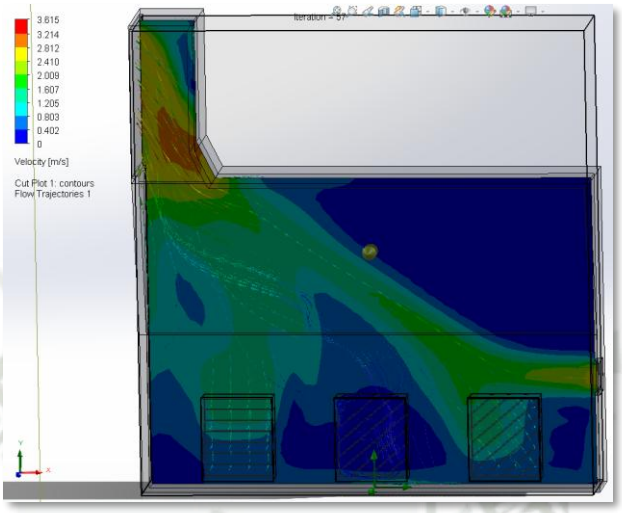
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Figura 5.24

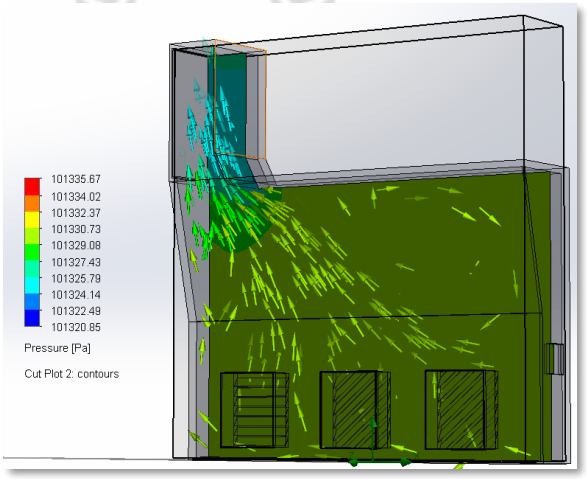
Escenario 7 velocidad del flujo de aire con apertura lateral-generador 1 y 3 encendidos y compresores encendidos



Como se observa al trabajar con 2 generadores y todos los compresores, se obtiene una velocidad de salida promedio de 2.812 m/s (**Figura 5.24**) que sigue siendo muy aceptable según la escala de Beaufort.

Figura 5.25

Escenario 7 presiones del flujo de aire con apertura lateral-a plena carga con deflectores mejorados



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De igual forma, respecto a la simulación de presiones realizada, se puede observar que la diferencia de presiones máxima encontrada es de 5.73 pascales respecto a la presión ambiental (**Figura 5.25**), que como veremos en cálculos posteriores cumple con que la potencia eléctrica del motor sea mayor a la potencia hidráulica entre la eficiencia.

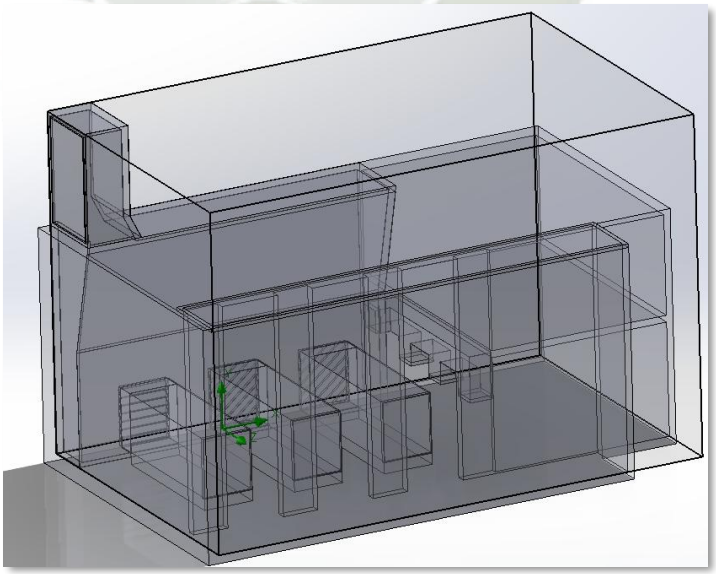
5.1.5. Simulación 5

- En esta segunda simulación se ampliaron los dominios de todo el recinto que comprende sótano 1 sótano 2 teniendo en cuenta los planos constructivos que se tienen hasta este momento y los ductos adicionales para la derivación del aire de refrigeración (Figura 5.26) de los compresores hacia el plenum. Para ello se utilizó el último plenum creado para la simulación 5 siendo este la opción más acertada y mejorada.

Además, se tomaron en consideración los flujos de aire interiores y las condiciones ambientales exteriores, tanto al ingreso del aire por la fosa como a la salida.

Figura 5.26

Modelo 3D del recinto general (sótano 1 y 2)



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

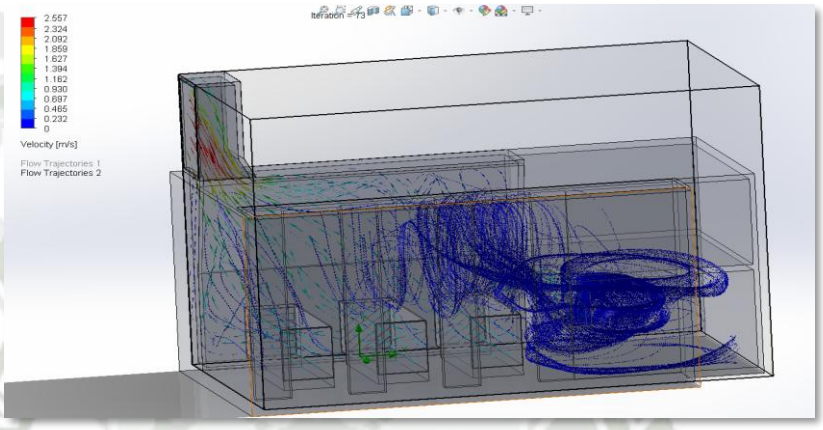
REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En este escenario se puede observar a los 3 generadores de 800KVA trabajando con un flujo constante de aire de refrigeración de 11.02 m3/s y también a los compresores con una única entrada de aire que se plantea con un flujo de 2.5 m3/s.

Figura 5.27

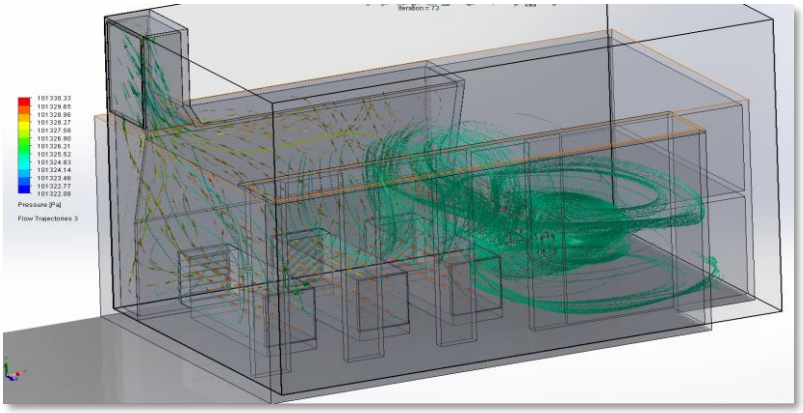
Escenario 1 Recinto modelado completo, velocidad de flujo-generadores a plena carga y compresores encendidos



Como se aprecia en la simulación de velocidades del flujo (Figura 5.27), se tiene a la salida de igual forma una velocidad adecuada que sigue siendo comparable con una brisa ligera según la escala de Beaufort, e incluso se ve un tanto reducida con 2.5 m/s a comparación de la simulación 5 debido a la existencia de un recorrido más largo por los ductos de aire que conectan al Plenum, mismo recorrido que desacelera el flujo antes de su ingreso.

Figura 5.28

Escenario 1 Recinto modelado completo, presión de flujo-generadores a plena carga y compresores encendidos



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

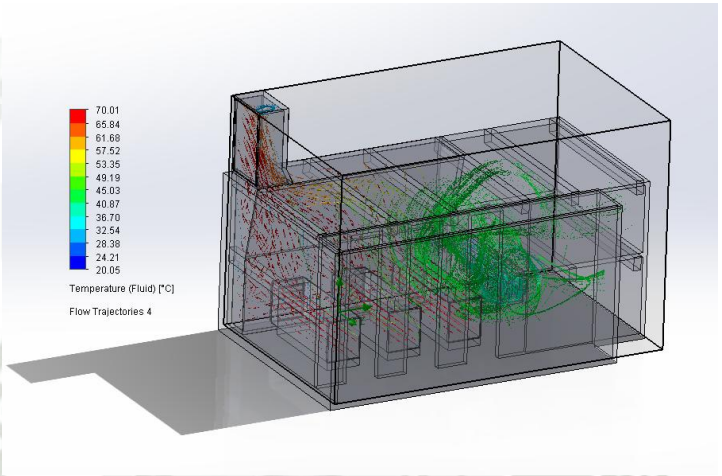
REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

De igual forma respecto a la figura 5.28 podemos observar que las presiones máximas respecto a la presión ambiental solo difieren en alrededor de 5 pascales.

Figura 5.29

Escenario 1 Recinto modelado completo, temperatura de flujo-generadores a plena carga y compresores encendidos



Finalmente, en la figura 5.29 se aprecia la temperatura de flujo de salida del cuarto de escape de gases de refrigeración que es alrededor de 60ºC que tomando en cuenta que posee un flujo lento, rápida reducción de temperatura por la mezcla con el aire exterior y que no se encuentra en una zona de tránsito peatonal concurrido, no representa un problema.

5.2. CÁLCULOS

Esta sección consolida los cálculos ingenieriles que sustentan el diseño del sistema de aire de enfriamiento y validan los resultados obtenidos a través de las simulaciones en SolidWorks. Se consideran las propiedades del aire para Cerro Colorado, Arequipa (aproximadamente 2,400 metros sobre el nivel del mar), con una densidad (ρ) de 0.903 kg/m³ y un calor específico (cp) de 1.005 kJ/(kg·°C).

5.2.1. Cuantificación de la carga térmica total

La carga térmica total que el sistema de ventilación de la casa de fuerza debe disipar proviene de los tres generadores y los tres compresores.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1) **Generadores Caterpillar DE800S GC (3 unidades):** Cada generador disipa un calor total de 501 kW.

- Carga Térmica Total de 3 Generadores: 3×501 kW=1503 kW

2) **Compresores Atlas Copco (1 GA11, 2 SF11):** Estimando el 90% de su potencia eléctrica como calor disipado.

- Carga Térmica de 1 GA11 (11 kW): 11 kW×0.90=9.9 kW
- Carga Térmica de 2 SF11 (2 x 11 kW): 2×9.9 kW=19.8 kW
- Carga Térmica Total de Compresores: 9.9 kW+19.8 kW=29.7 kW

3) **Carga Térmica Global Total del Edificio (Q total):** Este es el calor combinado que el sistema de ventilación completo debe remover del sótano.

- 1503 kW (generadores)+29.7 kW (compresores)=1532.7 Kw

5.2.2. Cálculos del caudal de aire y temperaturas de operación

1) **Caudal de aire en la boca de salida del cuarto de escape**

La información clave, validada por las simulaciones en SolidWorks, es que el diseño del cuarto de escape permite que el flujo de aire se desacelere en su boca de salida (área de 6.5 m²) hasta una velocidad de 2.5 m/s. Esto define el caudal de aire que finalmente abandona el sistema.

- Área de Salida del Cuarto de Escape: 2 m×3.25 m=6.5 m²
- Velocidad de Salida del Aire (según simulaciones): 2.5 m/s
- Caudal de Aire Total Evacuado (Q aire,evacuado): 2.5 m/s×6.5 m²=16.25 m³/s

Convertido a pies cúbicos por minuto (CFM):

- Q aire,evacuado ≈16.25 m³/s×2118.88 CFM/m³/s≈34,420 CFM

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2) Incremento de Temperatura General del Aire Evacuado

Según las simulaciones realizadas, el aire que sale directamente de cada generador e ingresa al cuarto de escape lo hace a una temperatura de aproximadamente 70°C, mientras que el aire proveniente de cada compresor ingresa a una temperatura de aproximadamente 30°C. Gracias al gran tamaño del cuarto de escape, se observa un fenómeno de mezcla y un ligero enfriamiento del flujo, resultando en que el aire finalmente sale por la boca de descarga del cuarto a alrededor de 60°C.

Considerando una temperatura ambiente de entrada de aire fresco de referencia de aproximadamente 20°C, esto representa un incremento de temperatura de $\Delta T = 60°C - 20°C = 40°C$ para el aire evacuado por este cuarto.

El calor efectivamente removido por este caudal de 16.25 m³/s de aire que sale a 60°C del cuarto de escape es:

$$\dot{Q}_{Total\ removido} = \rho * C_p * Q_{Aire\ Evacuado} * \Delta T$$

$$\dot{Q}_{Total\ removido} = 0.903 \frac{\text{kg}}{\text{m3}} * 1.005 \frac{\text{kJ}}{kg * ºC} * 16.25 \frac{m3}{s} * 40\ ºC$$

$$\dot{Q}_{Total\ removido} \approx 589.6\ \text{kW}$$

Contribuye significativamente a la disipación de la carga térmica total del recinto. El calor restante generado por los equipos, incluyendo el calor radiado al ambiente general del sótano (aproximadamente 348 kW de los generadores) y la porción de calor que no es directamente disipada por el caudal que sale a 60°C del cuarto de escape, es gestionado por el flujo general de aire fresco que ingresa a través de las aberturas de 97.2 m² y es evacuado por mecanismos de ventilación del sótano que complementan el sistema del cuarto de escape.

3) Velocidad del Aire en las Aberturas de Entrada (97.2 m²)

Las grandes aberturas de 97.2 m² son las encargadas de proporcionar todo el aire fresco para la refrigeración de los equipos al interior del sótano. La velocidad de entrada del aire se calcula asumiendo que el caudal de entrada principal es el que es finalmente evacuado por los sistemas de ventilación del sótano, incluyendo el cuarto de escape.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

- Velocidad de Entrada = Q aire, evacuado / Área de Entrada
- Velocidad de Entrada = 16.25 $m^3/s/97.2\ m^2 \approx 0.167$ m/s

Esta velocidad de entrada extremadamente baja (apenas 0.17 m/s) garantiza que el aire fresco ingrese al sótano de manera muy suave, sin crear corrientes bruscas, lo cual es ideal para el confort y para permitir que el aire se distribuya de manera uniforme antes de ser calentado y canalizado.

5.2.3. Justificación del Sistema de Ventilación

El sistema de ventilación de la casa de fuerza ha sido diseñado de manera que pueda gestionar una carga térmica considerable, optimizando el flujo de aire y asegurando la evacuación eficiente del calor, tal como las simulaciones en SolidWorks previas han validado:

- **Ingreso Masivo y Suave de Aire Fresco:**
  Las amplias aberturas de 97.2 m^2 en la zanja adyacente al sótano permiten una entrada de aire fresco a una velocidad muy baja (aproximadamente 0.17 m/s). Esto asegura un suministro constante y difuso de aire de refrigeración para todos los equipos en el interior del sótano, contribuyendo a la estabilidad térmica general.

- **Canalización Directa del Calor Principal:**
  La característica distintiva del diseño es que los generadores y compresores están directamente conectados por ductos al cuarto de escape de aire de refrigeración. Esto significa que la mayor parte del calor disipado por los sistemas de enfriamiento de estos equipos se canaliza directamente a este cuarto, evitando que contamine térmicamente el ambiente general del sótano y concentrando el calor para una evacuación eficiente. La mezcla y el ligero enfriamiento dentro del gran volumen del cuarto de escape, antes de la salida, es un aspecto clave observado en las simulaciones.

- **Evacuación Controlada de Aire Caliente:**
  El cuarto de escape centraliza este aire caliente y lo expulsa a través de una boca de salida específica de 6.5 m^2. Las simulaciones demuestran que el diseño logra

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

desacelerar el flujo de aire en la boca de salida a una velocidad de 2.5 m/s. Esta velocidad, comparable a una "Brisa ligera" en la escala de Beaufort (Tabla 5), permite una descarga eficiente y controlada al exterior, minimizando la turbulencia y el impacto ambiental directo.

- **Gestión Integral de la Carga Térmica:**
  Si bien el caudal de 16.25 m³/s del cuarto de escape maneja directamente una porción significativa de la carga térmica (aproximadamente 589.6 kW), el diseño de las amplias entradas asegura el flujo de aire fresco necesario para la ventilación general del sótano, incluyendo la disipación del calor radiado y otros aportes térmicos, completando así la estrategia de control ambiental.

- **Confirmación por Simulación (SolidWorks):**
  Al realizar la validación a través de las simulaciones en Solidworks, se demuestra que, a pesar de la alta carga térmica y la concentración del flujo, el diseño logra las condiciones de salida deseadas, asegurando una operación controlada, sin efectos adversos de turbulencia y evita afectación a peatones aledaños a la zona de descarga.

5.2.4. Justificación de potencia eléctrica de motores de ventilación

$$Pot\ Hidráulica = Presión\ Hidráulica * Q$$

$$Potencia\ eléctrica\ del\ motor > \frac{Potencia\ Hidráulica}{\eta}$$

$$Potencia\ Hidráulica = 5\ Pa * 11.02\ \frac{m^3}{s}$$

$$Potencia\ Hidráulica = 55.1\ W$$

$$16\ 500\ W > \frac{55.1\ W}{0.6}$$

$$16\ 500\ W > \frac{55.1\ W}{0.6}$$

$$16\ 500\ W > 91.8\ W \rightarrow \text{¡Si Cumple!}$$

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Utilizando los datos recopilados de la simulación con software se aprecia que la Potencia eléctrica del motor es ampliamente mayor a la potencia hidráulica generada, lo que significa que la movilización del aire de refrigeración se podrá realizar sin dificultades.

Según la escala de BEAUFORT (Tabla 5), la velocidad de 3 m/s es considerada como una brisa ligera, con lo cual comparando los datos obtenidos con la simulación de 2.5 m/s aproximadamente, se corrobora que el aire de salida del ducto será de velocidad ligera y no causará molestias a peatones ni vehículos.

Tabla 5.1

Hojas técnicas Velocidad del aire

Escala de Beaufort	Nombre de Viento	Velocidad m/s	Velocidad Km/h
0	Calma	0,5	2
0	Calma	0,5	2
1	Aire ligero	1,5	5
2	Brisa ligera	3	11
3	Brisa suave	6	22
4	Brisa moderada	8	30
5	Brisa fresca	11	40
6	Brisa fuerte	14	50
7	Viento moderado	17	60
8	Viento fresco	21	75
9	Viento fuerte	24	87
10	Gran viento	28	100
11	Tempestad	32	115
12	Huracán	36 o más	130 o más

Nota. Extraído de (S&P, 2017)

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

CONCLUSIONES

Se diseñaron técnicamente, de forma independiente y complementaria, el sistema de ventilación y el de evacuación de gases de combustión para la casa de fuerza del CIIT-UCSM, integrados con la selección y disposición de los tres generadores de 800 kVA y el sistema de aire comprimido (GA11 + 2×SF11). La verificación mediante análisis y simulación CFD demuestra control sobre temperaturas, velocidades y pérdidas de carga, así como condiciones adecuadas de descarga al exterior. El resultado garantiza la operación adecuada y coherente con las restricciones físicas del emplazamiento.

Se definieron adecuadamente los requerimientos operativos y funcionales que gobiernan el diseño. En lo eléctrico, la demanda simultánea consolidada (≈ 1 556,29 kVA) establece la capacidad mínima de generación y respalda las decisiones de redundancia. En lo neumático, el pico de consumo de aproximadamente 33,8 L/s se contrasta con una capacidad instalada cercana a 83,6 L/s y una reserva efectiva aproximada de 85,6 L/s que garantiza la simultaneidad por 5 min, asegurando continuidad en picos transitorios y eventualidades. Este dimensionamiento, junto con la gestión del aire de refrigeración de los equipos y del escape de gases de combustión de estos, evidencia márgenes operativos suficientes para sostener la actividad del CIIT-UCSM sin caídas de servicio.

Se establecieron criterios de selección y dimensionamiento con enfoque en confiabilidad y respuesta transitoria. La selección de 3 generadores de 800 kVA cada uno, bajo filosofía N+1 garantiza que dos unidades cubran la demanda máxima con margen para variaciones de carga, habilitando mantenimiento sin pérdida de servicio. En compresión, la combinación de tres sistemas de compresión, siendo 2 de tornillo libre de aceite y 1 de tornillo lubricado, más almacenamiento neumático, atenúa caídas de presión ante escalones de consumo y favorece la estabilidad del sistema. El conjunto ofrece un desempeño robusto tanto en régimen permanente como frente a variaciones de carga inesperadas.

El diseño por análisis técnico y CFD validó que la ventilación distribuye caudales y temperaturas de forma homogénea, evitando recirculaciones críticas mediante deflectores que estabilizan el flujo y mantienen velocidades de descarga dentro de rangos adecuados.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

En paralelo, el sistema de escape controla pérdidas y velocidades a lo largo de la red, asegurando condición y altura de emisión favorables para la dilución exterior. Las evaluaciones por escenarios confirman que ambos sistemas cumplen con un desempeño adecuado y funcional para esta aplicación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar una supervisión estricta durante la instalación de las tuberías de escape para asegurar que se respeten los diámetros y longitudes proyectadas en el modelamiento. Cualquier modificación no prevista en obra podría afectar el comportamiento hidráulico del sistema, incrementando la pérdida de presión o generando zonas de acumulación de calor. En especial, se debe prestar atención a los tramos ascendentes verticales, en donde el cumplimiento del incremento de diámetro cada 20 metros, conforme a la Norma Técnica E.050 del RNE, es clave para garantizar un flujo uniforme y seguro.

Para mantener la eficiencia del sistema a largo plazo, es recomendable implementar un plan periódico de inspección y limpieza interna de los ductos de escape. La acumulación de hollín, partículas carbonosas u otros residuos puede reducir el diámetro efectivo de paso, alterar las condiciones de presión y temperatura, y comprometer la integridad del sistema. Estas tareas deben realizarse considerando los accesos previstos y utilizando procedimientos adecuados que no comprometan la calidad estructural de las tuberías ni la seguridad del personal de mantenimiento.

En futuras ampliaciones o reemplazos de equipos generadores, se debe considerar como prioridad mantener o mejorar la compatibilidad del sistema de escape de gases con los nuevos caudales, temperaturas y presiones generadas. Las simulaciones actuales se encuentran optimizadas para los generadores Caterpillar de 800 kVA con una emisión de 115.1 m^3/min, por lo que cualquier cambio en las características del equipo podría requerir ajustes en el diámetro, material o trayecto de las tuberías, así como un nuevo análisis numérico para verificar su comportamiento.

Es aconsejable documentar en los manuales de operación del sistema todos los resultados de las simulaciones realizadas, así como los criterios de diseño aplicados, incluyendo los márgenes de seguridad utilizados. Esto permitirá una trazabilidad técnica ante auditorías, facilitará las futuras labores de mantenimiento y respaldará las decisiones operativas en caso de contingencias. Además, esta documentación técnica debe incorporarse al expediente técnico del proyecto para su consulta institucional.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Finalmente, aunque las simulaciones han mostrado que la velocidad de descarga de los gases no representa un riesgo ambiental ni estructural, se recomienda colocar señalización preventiva en la zona de descarga, así como elementos de protección pasiva si fuera necesario. Estas medidas podrían incluir deflectores o rejillas disipadoras que, sin interferir en la eficiencia del sistema, brinden una capa adicional de seguridad ante la presencia ocasional de personas en áreas cercanas a la salida de los gases.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(ATSDR), A. f. (2000). *Toxicological Profile for Carbon Monoxide*. Obtenido de U.S. Department of Health and Human Services, Public Health Service: https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp201.pdf

(EPA), E. P. (2016). *Nitrogen Dioxide (NO2) Pollution*. Obtenido de Environmental Protection Agency (EPA): https://www.epa.gov/no2-pollution

(OSHA), O. S. (2006). *Safety and Health Regulations for Construction*. Obtenido de Occupational Safety and Health Administration (OSHA): https://www.osha.gov/laws-regs/regulations/standardnumber/1926/1926.55

(WHO), W. H. (2006). *Air Quality Guidelines: Global Update 2005. Particulate matter, ozone, nitrogen dioxide, and sulfur dioxide*. Obtenido de World Health Organization (WHO): https://www.who.int/airpollution/publications/aqg2005/en/

AiresDeMadrid. (10 de Abril de 2019). *AiresDeMadrid.com*. Obtenido de AiresDeMadrid.com: https://airesdemadrid.com/como-funcionan-sistemas-ventilacion/

AMERICAN SOCIETY OF HEATING, REFRIGERATING AND AIR-CONDITIONING. (2017). *ASHRAE Handbook: HVAC Applications.* Atalanta: ASHRAE.

ASCE/SEI 7 (American Society of Civil Engineers). (2016). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures.*

Atlas Copco. (2020). *Compressed Air Manual (9th ed.).* Atlas Copco Group.

Beranek, L. L. (2006). *Noise and Vibration Control Engineering: Principles and Applications (2nd ed.).* John Wiley & Sons.

Caterpillar. (2019). *Diesel Generator Set Application and Installation Guide.* Caterpillar Inc.

CENTURIÓN GARCÍA, D. V. (2016). *cybertesis.unmsm.* Obtenido de https://cybertesis.unmsm.edu.pe/handle/20.500.12672/6236

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Cruz, C. (5 de julio de 2018). El reconocimiento facial llega al aeropuerto internacional de Sidney, Australia. *C/NET en español*. Obtenido de https://www.cnet.com/es/noticias/qantas-reconocimiento-facial-sidney-privacidad/

Cummins Power Generation. (2020). *Power Generation Manual: Generator Set Synchronization.* Cummins Inc.

ECHEVERRI, C. (2011). *Ventilación Industrial. 1° Edición.* Medellín: Ediciones de la U. .

Freepik. (2020). Obtenido de https://www.freepik.es/fotos-premium/hombre-oficina-tarjeta-identificacion-escanear-maquina-sistema-control-acceso_9449162.htm

Gómez Trejo, Á. (Septiembre de 2009). *MUNDO HVAC&R*.

HESION. (9 de Marzo de 2020). *HESION*. Obtenido de https://hesion-park.com/es/actualidad/contaminacion-en-un-aparcamiento-subterraneo/

IEEE. (2010). *IEEE Std 446-1995 – IEEE Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications (IEEE Orange Book).* Institute of Electrical and Electronics Engineers.

Instituto Nacional de Calidad (INACAL). (2019). *NTP 111.011: Ventilación – Requisitos para edificios.* Lima: INACAL.

ISA. (2017). *ISA-7.0.01 - Quality Standard for Instrument Air.* International Society of Automation.

ISO 10816-1. (1995). *Mechanical vibration - Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 1: General guidelines. International Organization for Standardization.*

ISO 1996-1. (2017). *Acoustics - Description, measurement and assessment of environmental noise - Part 1: Basic quantities and assessment procedures. International Organization for Standardization.*

ISO. (2010). *ISO 8573-1:2010 - Compressed air — Part 1: Contaminants and purity classes.* International Organization for Standardization.

ISO. (2018). *ISO 8528-1:2018 - Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets – Part 1: Application, ratings and performance.* International Organization for Standardization.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ISO 2041. (2009). *Vibration and shock - Vocabulary. International Organization for Standardization.*

ISO 8573-1. (2010). *Compressed air - Part 1: Contaminants and purity classes. International Organization for Standardization.*

Kosow, I. L. (2007). *Electric Power Equipment: The Installation, Operation, and Maintenance of Generators, Transformers, and Motors.* McGraw-Hill.

Krarti, M. A. (1998). *Evaluation of fixed and variable rate ventilation system requirements for enclosed parking facilities.* ASHRAE (ASHRAE Research Project 945-RP). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Magrab, E. B. (2020). *An Engineer's Guide to MATLAB: With Applications from Mechanical, Aerospace, Electrical, and Civil Engineering (4th ed.).* Pearson.

Marcial Valladares, Y. A. (marzo de 2019). *repositorio.UTP*. Obtenido de https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/2110/Yampier%20Marcial_Trabajo%20de%20Suficiencia%20Profesional_Titulo%20Profesional_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y

McGranaghan, M. &. (2007). *Quality of Electric Power in Distribution Systems.* IEEE Transactions on Industry Applications, 43(5), 1226–1234.

Merelles, M. (2018). *MUNDO HVAC&R*. Obtenido de https://www.mundohvacr.com.mx/2014/06/ventilacion-en-estacionamientos/

Ministerio de Energía y Minas. (2006). *Reglamento Nacional de Instalaciones Eléctricas.*

Ministerio de Vivienda, C. y. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones, Norma Técnica E.050 - Instalaciones Sanitarias*. Obtenido de Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento: http://www.minvivienda.gob.pe

NFPA 10. (2018). *Standard for Portable Fire Extinguishers. National Fire Protection Association.*

NFPA 2001. (2018). *Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems. National Fire Protection Association.*

NFPA. (2019). *NFPA 110: Standard for Emergency and Standby Power Systems.* National Fire Protection Association.

NFPA. (2021). *NFPA 101: Life Safety Code. National Fire Protection Association.*

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

OBERT, E. (1973). *Internal Combustion Engines and Air Pollution-3ra Edición.* Nueva York: Intext Educational.

Pedersen, B. K. (18 de Enero de 2006). *3tres3.com*. Obtenido de Comunidad Profesional Porcina: https://www.3tres3.com/latam/articulos/problemas-habituales-de-ventilacion-y-su-prevencion_9984/#:~:text=Un%20fallo%20frecuente%20mientras%20se,con%20el%20aire%20del%20interior.

Pneumatic Handbook. (2021). *Compressed Air Systems in Industrial Applications.* Elsevier.

S&P. (31 de Mayo de 2017). *S&P*. Obtenido de https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-de-ventilacion-aparcamientos/

S&P. (2017). *S&P*. Obtenido de https://statics.solerpalau.com/media/import/documentation/cp25.pdf

S&P. (31 de Mayo de 2017). *SOLERPALAU*. Obtenido de SOLERPALAU: https://www.solerpalau.com/es-es/blog/sistemas-de-ventilacion-aparcamientos/

TORRES MELGAREJO, M. A. (Noviembre de 2014). *Tesis.PUCP*. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/5998/TORRE_MARIO_DISE%c3%91O_SISTEMA_VENTILACION_ESTACIONAMIENTO.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Universidad Católica de Santa María. (2025). *CUADROS DE CARGA SISTEMA ELÉCTRICO.*

Vicente, M. (s.f.). *Informes de la Construcción.* Obtenido de https://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ANEXOS

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

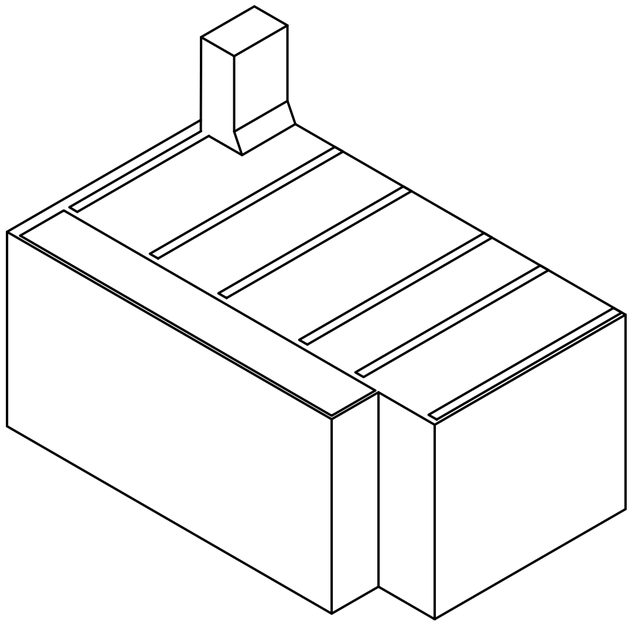
Anexo 1. Plano de distribución de la casa de fuerza y planos referenciales (nivel -1 y -2)

Plano de distribución que muestra la disposición espacial de los equipos (generadores, compresores y sistema de ventilación) dentro del recinto correspondiente al sótano -2 y -1 del CIIT-UCSM, cuyos planos referenciales también están incluidos para una ubicación espacial general.

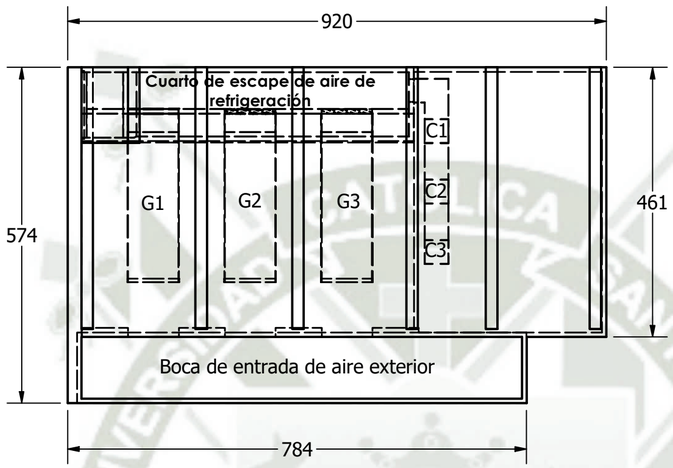
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos

En su investigación no olvide referenciar esta tesis

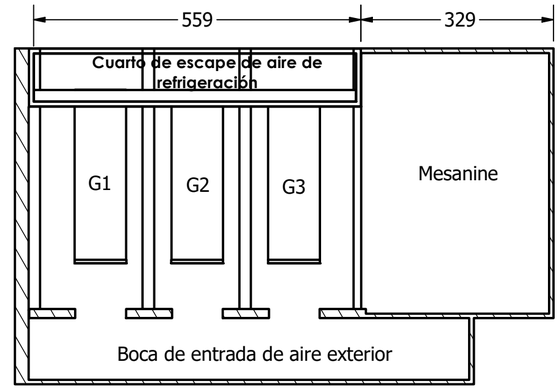
PLANO 1: DISTRIBUCIÓN DE LA CASA DE FUERZA DEL CIIT-UCSM



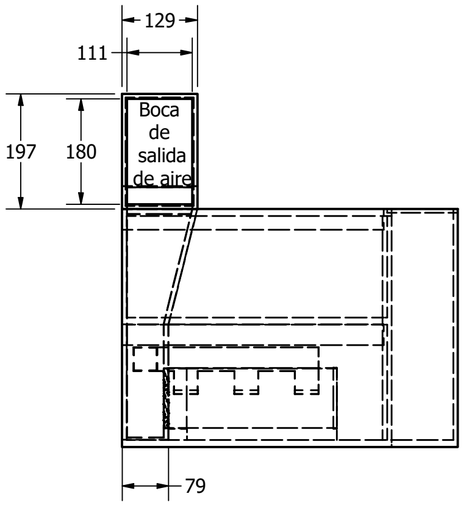
ISOMÉTRICO
Escala 1:200



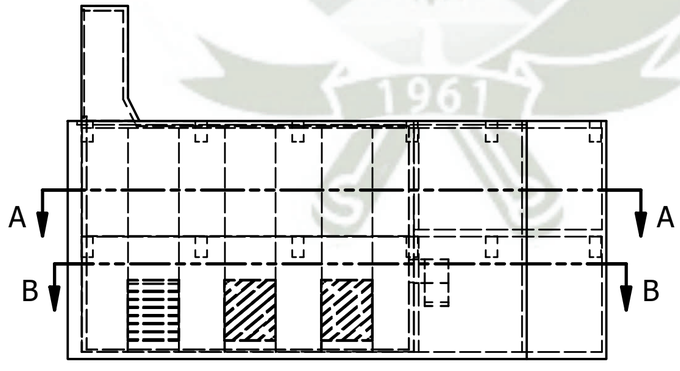
SUPERIOR
Escala 1:200



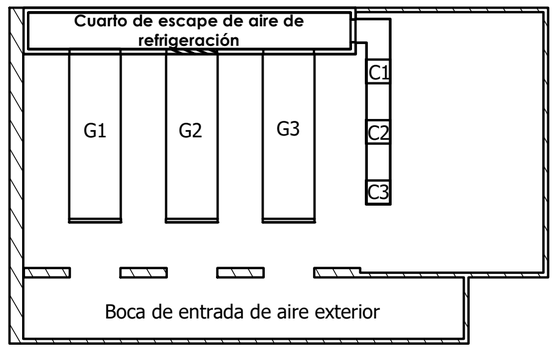
CORTE A-A: Sótano -1
Escala 1:200



IZQUIERDA
Escala 1:200



FRONTAL
Escala 1:200



CORTE B-B: Sótano -2
Escala 1:200

Leyenda	
Símbolo	Description
G1	Generador 1
G2	Generador 2
G3	Generador 3
C1	Compresor 1
C2	Compresor 2
C3	Compresor 3

Hecho por	Sebastian Zegarra	7/07/2025
Revisado por	Ing. Hermann Alcázar	8/07/2025

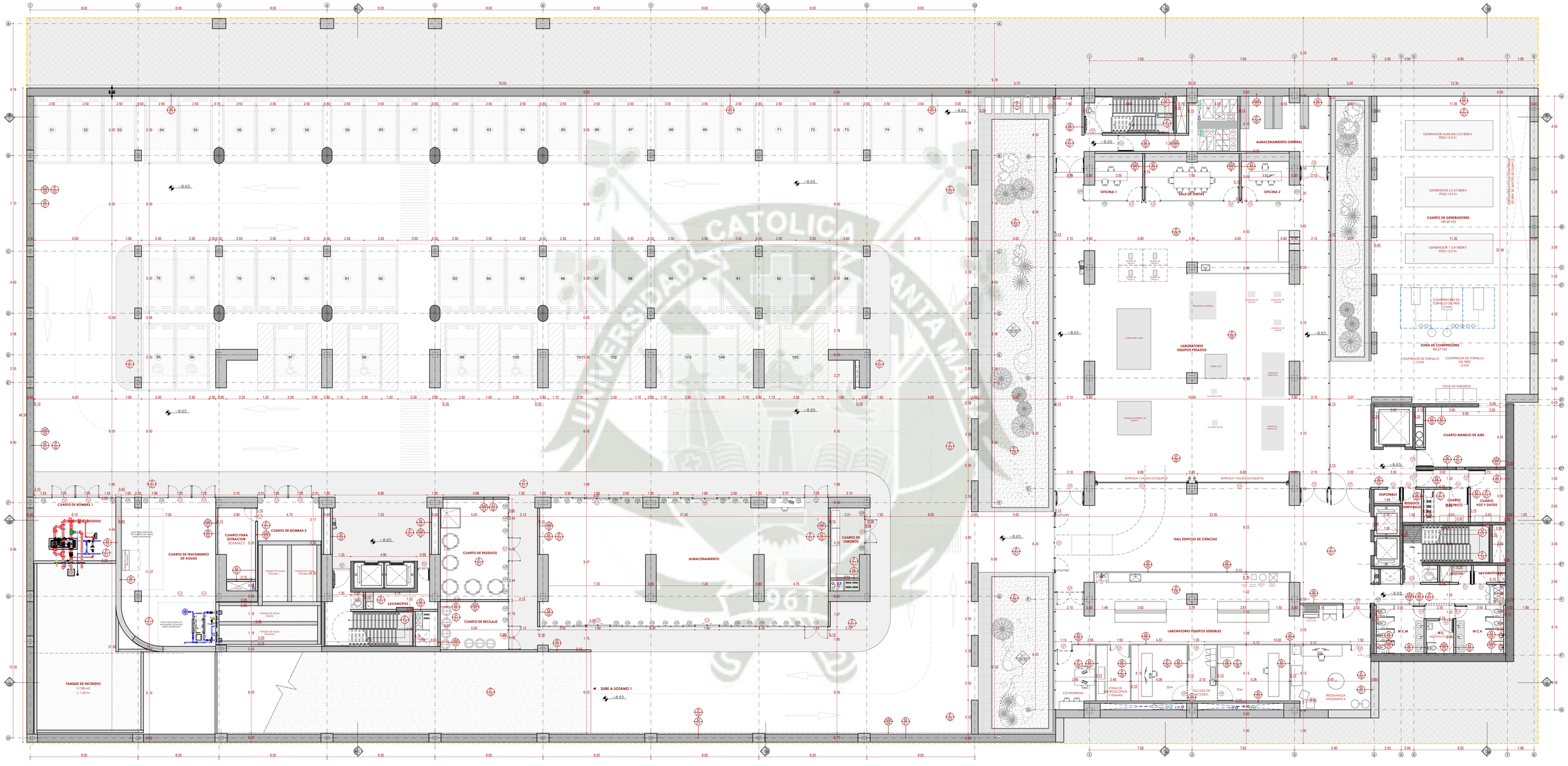
Universidad Católica de Santa María

Título

PLANO 1: DISTRIBUCIÓN DE LA CASA DE FUERZA DEL CIIT-UCSM

Tamaño		DWG NO.	REV
A2		01	0
Escala 1:200			Hoja 01 de 01

PLANTA SOTANO -2
ESCALA: 1:100



ESPECIFICACIONES

MUROS

M-01 MURO EN CONCRETO REFORZADO, COLOR CEMENTO GRIS, ACABADO LISO, HECHO CON FORMALETA METÁLICA (DISEÑO SEGÚN CÁLCULO ESTRUCTURAL).

M-02 MURO EN BLOQUE DE CONCRETO DE 14 X 19 X 39 CMS, UNIDAD PERFORADA, REFUERZO DE ACERO AL INTERIOR DE LOS ALVÉOLOS DEL BLOQUE (SEGÚN CÁLCULO ESTRUCTURAL).

M-03 MURO EN BLOQUE DE CONCRETO DE 19 X 19 X 39 CMS, UNIDAD PERFORADA, REFUERZO DE ACERO AL INTERIOR DE LOS ALVÉOLOS DEL BLOQUE (SEGÚN CÁLCULO ESTRUCTURAL).

M-04 MURO SECO EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10 MM DE ESPESOR, INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA, ACABADO EN PINTURA EPÓXICA COLOR BLANCO.

M-05 MURO CONFORMADO POR:
-ANTEPECHO EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10 MM DE ESPESOR. (INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA), ACABADO EN PINTURA EPÓXICA COLOR BLANCO.
-VENTANA CORRIDA EN VIDRIO LAMINADO 3+3.
-DINTEL EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10 MM DE ESPESOR. RECUBRIMIENTO EN PANELES DE ALUMC TIPO "QUADKLINE" 10X15 (HUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE). (DISPOSICIÓN SEGÚN DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS).

M-06 MURO CORTAFUEGO CONFORMADO POR:
-ANTEPECHO EN LÁMINAS DE GYPLAC RHI (F120) DE 15 MM DE ESPESOR. (INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA).
-VENTANA CORRIDA EN VIDRIO CORTAFUEGO (F120), MARCO RELLENO EN LANA DE ROCA MINERAL. INCLUYE SELLO DE CINTA INTUMESCENTE ENTRE MARCO Y VIDRIO Y SELLO PERIMETRAL DE VIDRIO EN GEL INTUMESCENTE.
-DINTEL EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10 MM DE ESPESOR. RECUBRIMIENTO EN PANELES DE ALUMC TIPO "QUADKLINE" 10X15 (HUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE). (DISPOSICIÓN SEGÚN DISEÑOS ARQUITECTÓNICOS).

M-07 MURO COMPUESTON POR PANELES TIPO SANDWICH CON NÚCLEO AISLANTE EN ESPUMA RÍGIDA PIR Y CARAS EXTERIORES EN RESINA FENÓLICA DE 3 MM DE ESPESOR. COLOR BLANCO.

ACABADOS DE MUROS

AM-01 MURO REVOCADO Y ESTUCADO. ACABADO EN PINTURA EXTERIOR COLOR GRIS.

AM-02 MURO REVOCADO Y ESTUCADO, ACABADO PINTURA PARA EXTERIORES COLOR GRIS CLARO.

AM-03 MURO REVOCADO Y ESTUCADO, ACABADO EN PINTURA ANTIBACTERIAL, SATINADA Y LAVABLE DE ALTA ASEPSIA. COLOR BLANCO.

AM-04 ENCHAPE EN PIEDRA TIPO "SILLAR" COLOR BLANCO. DISPOSICIÓN SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS. ANCLADA MECÁNICAMENTE Y CON PEGA.

AM-05 MURO EN ENCHAPE CERÁMICO "MARMOLIZADO O PORCELÁNATOS" O EQUIVALENTE, DE 0.30 X 0.60 M E=8 MM. BISELADO Y RECTIFICADO. JUNTAS SELLADAS CON MORTERO PORCELÁNICO. COLOCACIÓN A NIVEL SIN RESALTES ENTRE LAS PIEZAS.

AM-06 ENCHAPE EN LÁMINAS DE ALUCOMPUESTO CON MELAMINA EN BTE. "BOBIL" MALLADO" ,(CARTAS" O EQUIVALENTE) 3 MM DE ESPESOR. DIMENSIONES SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS.

AM-07 RECUBRIMIENTO DE MURO EN ELEMENTOS VERTICALES DE MADERA TECA, FIJACIÓN A MURO MEDIANTE PERNOS, ACABADO CEPILLADO Y ENCERADO CON ACEITES NATURALES.

AM-08 RECUBRIMIENTO DE MUROS LAMAS ACÚSTICAS MELAMINADAS Y RANURADAS (2400 X 128 MM, 16MM DE ESPESOR), FIJACIÓN A RASTREL DE MADERA. INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA PARA AISLAMIENTO ARQUITECTÓNICO.

AM-09 RECUBRIMIENTO DE MURO EN PANELES TIPO "COMPOSITE" DE ALUMINIO PARA FACHADAS (DOS CHAPAS DE ALUMINIO Y NÚCLEO INTERIOR DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS CON CARGA MINERAL). COLOR COOPER. REFE."ALUCOB" O EQUIVALENTE.

AM-10 ENCHAPE DE MURO EN MOSAICO CERÁMICO ARTÍSTICO.

PISOS

P-01 PISO EN CONCRETO ESMALTADO Y PULIDO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDESLIZANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). (DILATACIONES DEFINIDAS CON DISCO DE TUNGSTENO SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

P-02 PISO EN CONCRETO ESMALTADO Y PULIDO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDESLIZANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). INCLUYE DEMARCACIÓN HORIZONTAL Y SEÑALIZACIÓN EN PINTURA ACRÍLICA RESISTENTE A LA ABRASIÓN. (DILATACIONES DEFINIDAS CON DISCO DE TUNGSTENO SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

P-03 RAMPA EN CONCRETO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDESLIZANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). INCLUYE CORTES EN ESPINA DE PESCADO.

P-04 ACABADO DE PISO EN PIEDRA TIPO "BASALTO" COLOR ONIX DE 2 CMS DE ESPESOR, DISPUESTA A JUNTA PERDIDA DE ACUERDO A PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA.

P-05 ACABADO DE PISO EN PIEDRA TIPO "BASALTO" COLOR ONIX DE 4 CMS DE ESPESOR (PARA TRÁFICO VEHICULAR). DISPUESTA A JUNTA PERDIDA DE ACUERDO A PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA.

P-06 ACABADO DE PISO EN RECUBRIMIENTO EPÓXICO PARA RESISTENCIA QUÍMICA Y MECÁNICA DE LA SUPERFICIE. INCLUYE CAPA EPÓXICA AUTONIVELANTE, CAPA EPÓXICA DE FONDO, Y CAPA EPÓXICA DE ACABADO FINAL, ESPESOR MÍNIMO 3MM.

P-07 ACABADO DE PISO EN ALFOMBRA DE NYLON COLOR AZUL PETRÓLEO. REFE. "DESERT-RIBBZ 88117" (DARKITT O EQUIVALENTE).

P-08 PISO EN MORTERO PENDIENTADO, IMPERMEABILIZADO CON RECUBRIMIENTO EN MANTO ASFALTICO, DIMENSIONES SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS, INCLUYE CAPA DRENANTE, GEOTEXTIL Y SUSTRATO DE TIERRA FERTIL CON CAPA VEGETAL DE BAJO PORTE.

P-09 PISO CONFORMADO POR PIEZAS DE MADERA NATURAL TIPO "TECA" (8 CM DE ANCHO X 2 CMS DE ESPESOR Y 2.8 MTS DE LARGO). FIJADA A PERFILES TUBULARES RECTANGULARES EN ACERO (1.5 X 5 CMS) DISPUESTOS SOBRE MUERETES DE BLOQUE.

P-10 PISO EN VIDRIO TRANSITABLE CONFORMADO POR LÁMINAS DE VIDRIO MULTILAMINADO 10+10+6. INCLUYEN CON TEXTURA MASTER RAYA Y JUNTAS SELLADAS CON SILICONA. DIMENSIONES SEGÚN PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA. SOPORTADO POR ESTRUCTURA EN ACERO DE 16 CM x 6 CM Y DE 26 CM x 12 CM, ACABADO DE ESTRUCTURA EN PINTURA ANTICORROSIVA COLOR GRIS REFE. "SIKA 7030 O EQUIVALENTE"

P-11 PISO EN MORTERO PENDIENTADO, IMPERMEABILIZADO CON RECUBRIMIENTO EN MANTO ASFALTICO, DIMENSIONES SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS, INCLUYE CAPA DRENANTE, GEOTEXTIL Y CAPA DE GRAVILLA CON GRADACIÓN "2" A 1".

P_12 PISO EN ADOQUIN PREFABRICADO EN CONCRETO PARA TRÁNSITO VEHICULAR TIPO GRANOQUIN.

P_13 PISO PARA ESCALERA EN PELDAÑOS DE TRAVERTINO COLOR AMARILLO, ANCLADOS PELDAÑOS PREFABRICADOS EN CONCRETO, INCLUYE BANDA DE TRANSITO DEFINIDA CON ADHESIVO ANTIDESLIZANTE EN EL PIRLAN. DIMENSIONES SEGÚN PLANOS DE ESCALERAS.

P_14 PELDAÑOS DE ESCALERA EN CONCRETO SOBRE ESTRUCTURA EN CONCRETO (DIMENSIONES SEGÚN CÁLCULOS ESTRUCTURALES).

INCLUYE FRANJA DE CINTA ANTIDELIZANTE.

P_15 PISO CONFORMADO POR JARDINES Y CAPA VEGETAL DE TIERRA FÉRTIL (CUANDO EL JARDÍN SE DISPONE SOBRE PLACA DE CONCRETO INCLUYE AISLANTE HIDRÓFUGO, MEMBRANA PVC IMPERMEABILIZANTE, VER DET. D-L-02)

P-16 PISO EN LÁMINA COLABORANTE DE STEEL DECK (15 CM DE ALTURA), ACABADO EN CONCRETO ESMALTADO Y PULIDO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDESLIZANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). (DILATACIONES DEFINIDAS CON DISCO DE TUNGSTENO SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

P_17 PISO EN REJILLA ESTRUCTURAL, TROQUELADA. PRENSADA Y SOLDADA. CON DENTADO ANTIDESLIZANTE DE ALTA SEGURIDAD.

P_18 SISTEMA DE SOBREPISO PARA CUBIERTA TÉCNICA CONFORMADO POR LOSETAS DE CONCRETO PREFABRICADAS. COLOR GRIS CLARO. ACABADO LISO, INSTALADAS SOBRE DADOS DE CONCRETO DISPUESTOS EN LAS ESQUINAS DE LA LOSETA. SISTEMA SOBRE PLACA ESTRUCTURAL DE CONCRETO (INCLUYE MORTERO PENDIENTADO, IMPERMEABILIZADO CON RECUBRIMIENTO EN MANTO ASFALTICO)

CIELOS Y CUBIERTAS

C-01 CIELO RASO EN CONCRETO A LA VISTA (TOMA DE CONCRETO INFERIOR). VACIADO EN SISTEMA DE LOSA ALIGERADA. ACABADO LISO.

C-02 CIELO RASO EN CONCRETO A LA VISTA (PLACA MACIZA DE CONCRETO). ACABADO LISO.

C-03 CIELO RASO EN PANELES MODULARES ENTRAMADOS DE PERFILES METÁLICOS EN ALUZINC DE 610CM X 610CM REF. CELL T-15 MODULO DE 3.5CM. (HUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE)

C-04 CIELO RASO EN LÁMINAS DE FIBROCEMENTO DE 8MM DE ESPESOR. ACABADO EN PINTURA COLOR BLANCO. INCLUYE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN FIBRA DE VIDRIO.

C-05 CIELO RASO EN PLACAS DE YESO TIPO GYPLAC EXSOUND ACÚSTICO. PERFORACION 19.75 REDONDO. REFERENCIA "R 15/30 BC". DIMENSION PERFORACION 15MM SEPARACION ENTRE PERFORACIONES 30MM. ESPESOR PLACA 15MM.

C-06 CIELO RASO EN PLACAS METÁLICAS DE LAMINA COLD ROLD CALIBRE 16. ACABADO EN PINTURA ANTICORROSIVA COLOR GRIS.

C-07 CIELO RASO EN LAMINAS DE FIBROCEMENTO DE 8MM DE ESPESOR. ACABADO EN PINTURA ANTIBACTERIAL SATINADA Y LAVABLE DE ALTA ASEPSIA. COLOR BLANCO.

C-08 CIELO RASO EN PLACAS DE MDF-RH CONTRACHAPADA DE 15MM DE ESPESOR. REFE. "ECOMDF" (PELIKANO O EQUIVALENTE). ACABADO MATE. INCLUYE AISLAMIENTO EN LANA MINERAL DE ROCA. CONFIGURACIÓN PLEGADA PARA CONFORT ACÚSTICO INTERIOR.

C-09 CUBIERTA CONFORMADA POR MÓDULOS DE ALUZINC. ACABADO LISO CON RIGIDIZADORES Y PINTURA EN POLIÉSTER HORNEABLE. REFE. "3306" (HUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE)

FACHADAS

F-01 FACHADA EN SISTEMA DE MURO CORTINA CONFORMADA POR VIDRIOS LAMINADOS (ESPESOR SEGÚN RECOMENDACIONES DE PROVEEDOR). COLORACIÓN VIDROSA. (SHGC IGUAL O MENOR A 0.35, TL IGUAL O MAYOR A AL 40%). FIJACIÓN A PERFILERIA EN ALUMINIO.

F-02 FACHADA EN SISTEMA DE MURO CORTINA CONFORMADA POR VIDRIOS LAMINADOS (ESPESOR SEGÚN RECOMENDACIONES DE PROVEEDOR). COLORACIÓN GRIS. (SHGC IGUAL O MENOR A 0.40, TL IGUAL O MAYOR A AL 65%). FIJACIÓN A PERFILERIA EN ALUMINIO..

ELEMENTOS URBANOS

EU-01 BANCA EN CONCRETO. SUPERFICIE DE ASIENTO EN MADERA TECA O SIMILAR CON EXTREMOS REDONDEADOS.

EU-02 JARDINERA CONFORMADA POR PLATINAS DE ACERO, CAPA IMPERMEABILIZANTE, CAPA DRENANTE, CAPA FILTRANTE Y CAPA VEGETAL.

EU-03 DEMARCACIÓN EN ESTOPERROLES DE ALUMINIO.

EU-04 LUMINARIA MÁSIL PARA ILUMINACIÓN DE PLAZA Y ESPACIOS PÚBLICOS. 8 MTS DE ALTURA.

EU-05 LETRERO 3D EN LÁMINA DE ACERO FIGURADA. FRASE "UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA". INCLUYE PINTURA ANTICORROSIVA COLOR NARANJA. DIMENSIONES Y DETALLES SEGÚN PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA

REVISIONES			
B	21/12/24		NO VIGENTE
A	31/10/24		NO VIGENTE
^	FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTATUS

NORTE Y ETIQUETAS NIVELES

N.A. 0.00 NIVEL CORTE
N.P. 0.00 NIVEL PLANTA

NORTE

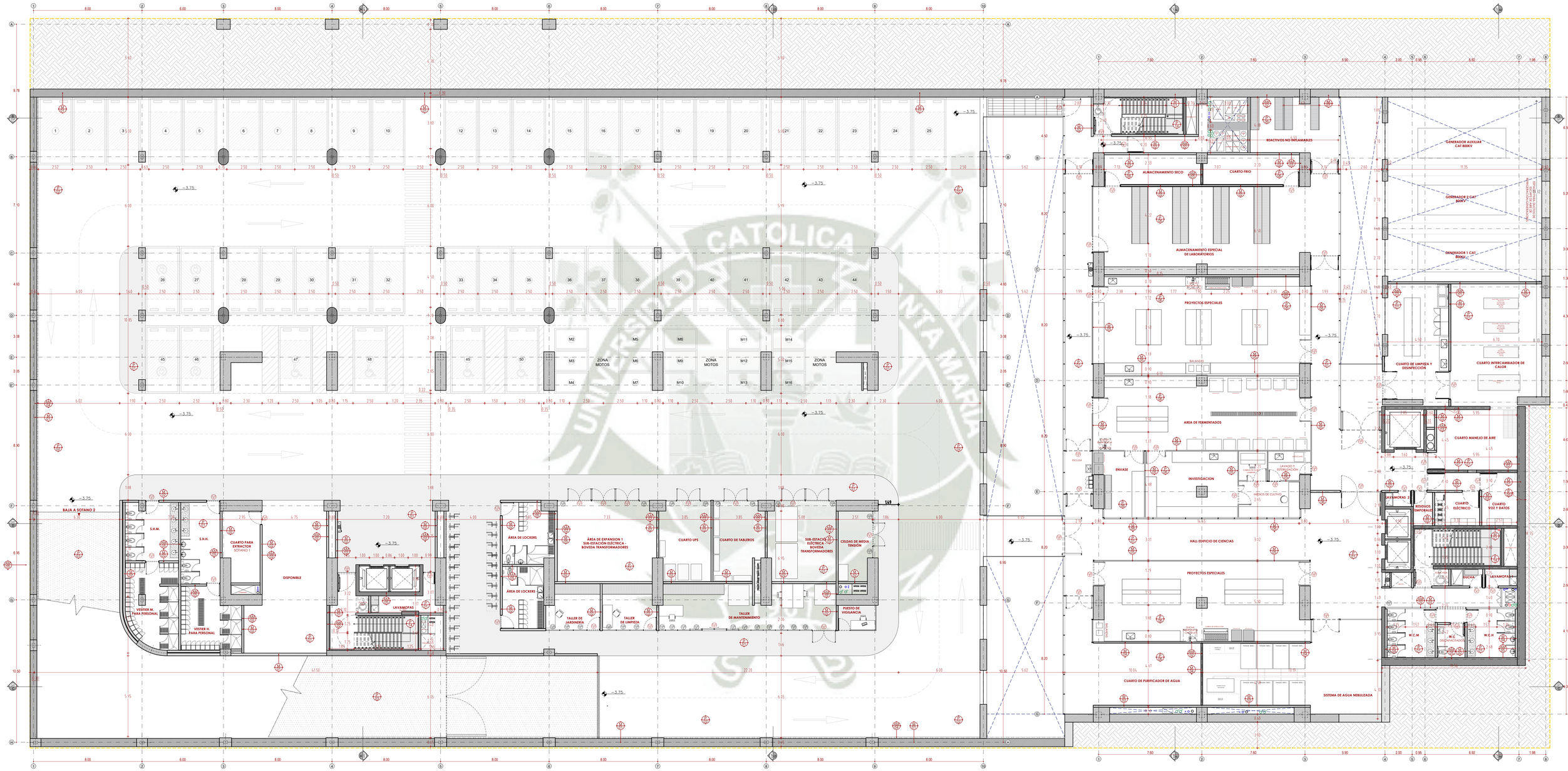
LOCALIZACIÓN

Representante legal: RECTOR

Aprobado por: REVISOR

Área Responsable: Vicerrectorado de Investigacion	Realizado por: Edison Henao C. / INMTEC M.P A05182001-71726817	Revisado por: Alejandro Paerez B./ INMTEC M.P A25262002 - 79937782	
Universidad Católica de Santa María	Plano/Especialidad: Proyecto ARQUITECTONICO	Código de Lámina: A-AR102-CIIT-VRINV-0-2025	
Centro de Investigación e Innovación Tecnológica CIIT -UCSM	Rev.: 0	Estatus: Activo	Fecha: 14/03/2025
Calle Cayetano Arenas 161, Mza. P. Lt. 5, Parque Industrial Arequipa, Arequipa	Nombre de Lámina: SOTANO 2 N- 8.65 M		Número de Lámina: AR-102
	Formato: A0	Escala: INDICADA	Lámina de láminas: 2 de 23

PLANTA SOTANO 1
ESCALA: 1:100



ESPECIFICACIONES

MUROS

M-01 MURO EN CONCRETO REFORZADO, COLOR CEMENTO GRIS, ACABADO LISO, HECHO CON FORMALETA METÁLICA (DISEÑO SEGÚN CÁLCULO ESTRUCTURAL).

M-02 MURO EN BLOQUE DE CONCRETO DE 14 X 19 X 39 CMS, UNIDAD PERFORADA, REFUERZO DE ACERO AL INTERIOR DE LOS ALVÉOLOS DEL BLOQUE (SEGÚN CÁLCULO ESTRUCTURAL).

M-03 MURO EN BLOQUE DE CONCRETO DE 19 X 19 X 39 CMS, UNIDAD PERFORADA, REFUERZO DE ACERO AL INTERIOR DE LOS ALVÉOLOS DEL BLOQUE (SEGÚN CÁLCULO ESTRUCTURAL).

M-04 MURO SECO EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10 MM DE ESPESOR INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA PARA AISLAMIENTO TERMOACÚSTICO.

M-05 MURO CONFORMADO POR:
-ANTEPECHO EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10 MM DE ESPESOR, (INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA). ACABADO EN PINTURA EPÓXICA COLOR BLANCO
-VENTANA CORRIDA EN VIDRIO LAMINADO 3+3.
-MURO SECO EN LÁMINAS DE SUPERBOARD DE 10. MM DE ESPESOR, RECUBRIMIENTO EN PANELES DE ALUZINC TIPO "QUADRCLIME" 1241S (HUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE), (DISPOSICIÓN SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO).

M-06 MURO CORTAFUEGO CONFORMADO POR:
-ANTEPECHO EN LÁMINAS DE GYPLAC EHR (F120) DE 15 MM DE ESPESOR. (INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA).
-VENTANA CORRIDA EN VIDRIO CORTAFUEGO (F120), MARCO RELLENO EN LAMA DE ROCA MINERAL, INCLUYE SELLO DE CINTA INTUMESCENTE ENTRE MARCO Y MURO Y SELLO INTUMESCENTE DE VIDRIO EN GEL INTUMESCENTE.
-MURO SECO EN LÁMINAS DE 10. MM DE ESPESOR, RECUBRIMIENTO EN PANELES DE ALUZINC TIPO "QUADRCLIME" 1241S (HUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE), (DISPOSICIÓN SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO).

M-07 MURO COMPUESTON POR PANELES TIPO SANDWICH CON NÚCLEO AISLANTE EN ESPUMA RÍGIDA PIR Y CARAS EXTERIORES EN RESINA FENÓLICA DE 3 MM DE ESPESOR, COLOR BLANCO.

ACABADOS DE MUROS

AM-01 MURO REVOCADO Y ESTUCADO, ACABADO EN PINTURA EXTERIOR COLOR GRIS.

AM-02 MURO REVOCADO Y ESTUCADO, ACABADO PINTURA PARA INTERIORES COLOR GRIS CLARO.

AM-03 MURO REVOCADO Y ESTUCADO, ACABADO EN PINTURA ANTIBACTERIAL, SATINADA Y LAVABLE DE ALTA ASEPSIA, COLOR BLANCO.

AM-04 ENCHAPE EN PIEDRA TIPO "SILLAR" COLOR BLANCO, DISPOSICIÓN SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS, ANCLADA MECÁNICAMENTE Y CON PEGA.

AM-05 MURO EN ENCHAPE CERÁMICO "MARMOLIZADO, O PORCELANATO" O EQUIVALENTE, DE 0.30 X 0.60 M EMBONADO, BISELADO Y RECTIFICADO, JUNTAS SELLADAS CON MORTERO PORCELÁNICO. COLOCACIÓN A NIVEL EN RESALTES ENTRE LAS PIEZAS.

AM-06 ENCHAPE EN LÁMINAS DE AGLOMERADO CON MELAMINA EN RETE. "ROBLE MALLADO" (DURATEX O EQUIVALENTE) 12 MM DE ESPESOR. DIMENSIONES SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS.

AM-07 RECUBRIMIENTO DE MURO EN ELEMENTOS VERTICALES DE MADERA TECA, FIJACIÓN A MURO MEDIANTE PERNOS, ACABADO CEPILLADO Y ENCERADO CON ACEITES NATURALES.

AM-08 RECUBRIMIENTO DE MURO LAMAS ACÚSTICAS MELAMINADAS Y RANURADAS (240) X 128 MM, 16MM DE ESPESOR, FIJACIÓN A RASTREL DE MADERA, INCLUYE FIBRA DE VIDRIO INTERNA PARA AISLAMIENTO TERMOACUSTICO.

AM-09 RECUBRIMIENTO DE MURO EN PANELES TIPO "COMPOSITE" DE ALUMINIO PARA FACHADAS (DOS CHAPAS DE ALUMINIO Y NÚCLEO INTERIOR DE RESINAS TERMOPLÁSTICAS CON CARGA MINERAL). COLOR COOPER. REFE. "ALUCOIL" O EQUIVALENTE.

AM-10 ENCHAPE DE MURO EN MOSAICO CERÁMICO ARTÍSTICO.

PISOS

P-01 PISO EN CONCRETO ESMALTADO Y PULIDO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDELEANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). DILATACIONES DEFINIDAS CON DISCO DE TUNGSTENO SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

P-02 PISO EN CONCRETO ESMALTADO Y PULIDO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDELEANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). INCLUYE DEMARCACIÓN HORIZONTAL Y SEÑALIZACIÓN EN PINTURA ACRÍLICA RESISTENTE A LA ABRASIÓN, DILATACIONES DEFINIDAS CON DISCO DE TUNGSTENO SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

P-03 RAMPA EN CONCRETO, CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDELEANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE) INCLUYE CORTES EN ESPINA DE PESCADO.

P-04 ACABADO DE PISO EN PIEDRA TIPO "BASALTO" COLOR ONIX DE 2 CMS DE ESPESOR, DISPUESTA A JUNTA PERDIDA DE ACUERDO A PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA.

P-05 ACABADO DE PISO EN PIEDRA TIPO "BASALTO" COLOR ONIX DE 4 CMS DE ESPESOR (PARA TRÁFICO VEHICULAR), DISPUESTA A JUNTA PERDIDA DE ACUERDO A PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA.

P- 06 ACABADO DE PISO EN RECUBRIMIENTO EPÓXICO PARA RESISTENCIA QUÍMICA Y MECÁNICA DE LA SUPERFICIE. INCLUYE CAPA EPÓXICA AUTOIMPRIMANTE, CAPA EPÓXICA DE FONDO, Y CAPA EPÓXICA DE ACABADO FINAL. ESPESOR MÍNIMO 3MM.

P -07 ACABADO DE PISO EN ALFOMBRA DE NYLON COLOR AZUL PETRÓLEO, REFE "DESERT-BIRDS 881-T" (TARKETT O EQUIVALENTE).

P-08 PISO EN MORTERO PENDIENTADO, IMPERMEABILIZADO CON RECUBRIMIENTO EN MANTO ASFALTICO, DIMENSIONES SEGÚN PLANOS ARQUITECTÓNICOS. INCLUYE CAPA DRENANTE, GEOTEXTIL Y SUSTRATO DE TIERRA FÉRTIL CON CAPA VEGETAL DE BAJO PORTE.

P-09 PISO CONFORMADO POR PIEZAS DE MADERA NATURAL TIPO "TECA" (8 CM DE ANCHO X 2 CMS DE ESPESOR Y 2.8 MTS DE LARGO), FIJADA A PERFILES TUBULARES RECTANGULARES EN ACERO (15 X 5 CMS) DISPUESTOS SOBRE MURETES DE BLOQUE.

P-10 PISO EN VIDRIO TRANSITABLE CONFORMADO POR LÁMINAS DE VIDRIO MULTILAMINADO 10+1.0+6. INCOLORO, CON TEXTURA MASTER RAYA, Y JUNTAS SELLADAS CON SILICONA. DIMENSIONES SEGÚN PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA, SOPORTADO POR ESTRUCTURA EN ACERO DE 16 CM x 6 CM Y DE 26 CM x 12 CM, ACABADO DE ESTRUCTURA EN PINTURA ANTICORROSIVA COLOR GRIS REFE. TATA TOS O EQUIVALENTE"

P -11 PISO EN MORTERO PENDIENTADO, IMPERMEABILIZADO CON RECUBRIMIENTO EN MANTO ASFALTICO, DIMENSIONES SEGÚN PLANOS EQUIVALENTE). INCLUYE CORTES EN ESPINA DE PESCADO.

P -12 PISO EN ADOQUIN PREFABRICADO EN CONCRETO PARA TRÁNSITO VEHICULAR TIPO GRAMOQUÍN.

P -13 PISO PARA ESCALERA EN PELDAÑOS DE TRAVERTINO COLOR AMARILLO, ANCLADOS PELDAÑOS PREFABRICADOS EN CONCRETO, INCLUYE BANDA DE TRANSITO DEFINIDA CON ADHESIVO ANTIDESLIZANTE EN EL PIRUAN. DIMENSIONES SEGÚN PLANOS DE ESCALERAS.

P -14 PELDAÑOS DE ESCALERA EN CONCRETO SOBRE ESTRUCTURA EN CONCRETO (DIMENSIONES SEGÚN CÁLCULOS ESTRUCTURALES).

INCLUYE FRANJA DE CINTA ANTIDELEANTE.

P -15 PISO CONFORMADO POR JARDONES Y CAPA VEGETAL DE TIERRA FÉRTIL (CUANDO EL JARDÍN SE DISPONE SOBRE PLACA DE CONCRETO INCLUYE AISLANTE HIDROFÚGO, MEMBRANA PVC IMPERMEABILIZANTE, VER DET. D6-02)

P-16 PISO EN LÁMINA COLABORANTE DE STEEL DECK (15 CM DE ALTURA), ACABADO EN CONCRETO ESMALTADO Y PULIDO. CONTIENE PELÍCULA ENDURECEDORA ANTIDELEANTE COLOR GRIS, REFE. "ROCKTOP" (TOXEMENT O EQUIVALENTE). DILATACIONES DEFINIDAS CON DISCO DE TUNGSTENO SEGÚN DISEÑO ARQUITECTÓNICO.

P_17 PISO EN REJILLA ESTRUCTURAL, TROQUELADA, PRENSADA Y SOLDADA. CON DENTADO ANTIDESLIZANTE DE ALTA SEGURIDAD.

P_18 SISTEMA DE SOBREPISO PARA CUBIERTA TÉCNICA CONFORMADO POR LOSETAS DE CONCRETO PREFABRICADAS. COLOR GRIS CLARO, ACABADO LISO, INSTALADAS SOBRE DADOS DE CONCRETO DISPUESTOS A CADA 50 CM. DISTRIBUIDOS DE LA SIGUIENTE MANERA: SOBRE PLACA ESTRUCTURAL DE CONCRETO (INCLUYE MORTERO PENDIENTADO, IMPERMEABILIZADO CON RECUBRIMIENTO EN MANTO ASFALTICO)

CIELOS Y CUBIERTAS

C-01 CIELO RASO EN CONCRETO A LA VISTA (FORTA DE CONCRETO INFERIOR). VACIADO EN SISTEMA DE LOSA ALIGERADA. ACABADO LISO.

C-02 CIELO RASO EN CONCRETO A LA VISTA (PLACA MACIZA DE CONCRETO). ACABADO LISO.

C-03 CIELO RASO EN PANELES MODULARES ENTRAMADOS DE PERFILES METÁLICOS EN ALUZINC DE 61CM X 61CM REFE CIELI T-15 MODELO DE LÍNEA 25X61TEE DONGLAS O EQUIVALENTE).

C -04 CIELO RASO EN LÁMINAS DE FIBROCEMENTO DE 8MM DE ESPESOR. ACABADO EN PINTURA COLOR BLANCO. INCLUYE AISLAMIENTO ACÚSTICO EN FIBRA DE VIDRIO.

C -05 CIELO RASO EN PLACAS DE YESO TIPO GYPLAC EXSOUND ACÚSTICO. PERFORACION 19.7% REDONDO, REFERENCIA "R 15/30 BC" DIMENSION PERFORACION 15MM SEPARACION ENTRE PERFORACIONES 30mm. ESPESOR PLACA 13MM.

C -06 CIELO RASO EN PLACAS METÁLICAS DE LAMINA COLD ROLD CALIBRE 16. ACABADO EN PINTURA ANTICORROSIVA COLOR GRIS.

C -07 CIELO RASO EN LAMINAS DE FIBROCEMENTO DE 8MM DE ESPESOR. ACABADO EN PINTURA ANTIBACTERIAL, SATINADA Y LAVABLE DE ALTA ASEPSIA, COLOR BLANCO.

C -08 CIELO RASO EN PLACAS DE MDF-RH CONTRACHAPADA DE 15MM DE ESPESOR, REFE. "FLOAC" (FELKANO O EQUIVALENTE). ACABADO MATE. INCLUYE AISLAMIENTO EN LANA MINERAL DE ROCA. CONFIGURACIÓN PLEGADA PARA CONFORT ACÚSTICO INTERIOR.

C -09 CUBIERTA CONFORMADA POR MÓDULOS DE ALUZINC, ACABADO LISO CON RIGIDIZADORES Y PINTURA EN POLIÉSTER HORNEABLE. REFE. "35SC" (HOUNTER DOUGLAS O EQUIVALENTE)

FACHADAS

F-01 FACHADA EN SISTEMA DE MURO CORTINA CONFORMADA POR VIDRIOS LAMINADOS (ESPESOR SEGÚN RECOMENDACIONES DE PROVEEDOR). COLORACIÓN VERDOSA. (SHGC IGUAL O MENOR A 0.35, TL IGUAL O MAYOR A 40%). FIJACIÓN A PERFILERÍA EN ALUMINIO.

F-02 FACHADA EN SISTEMA DE MURO CORTINA CONFORMADA POR VIDRIOS LAMINADOS (ESPESOR SEGÚN RECOMENDACIONES DE PROVEEDOR). COLORACIÓN GRIS. (SHGC IGUAL O MENOR A 0.40, TL IGUAL O MAYOR A AL 65%). FIJACIÓN A PERFILERÍA EN ALUMINIO.

ELEMENTOS URBANOS

EU-01 BANCA EN CONCRETO, SUPERFICIE DE ASIENTO EN MADERA TECA O SIMILAR CON EXTREMOS REDONDEADOS.

EU-02 JARDINERA CONFORMADA POR PLATINAS DE ACERO, CAPA IMPERMEABILIZANTE, CAPA DRENANTE, CAPA FILTRANTE Y CAPA VEGETAL.

EU-03 DEMARCACIÓN EN ESTOFERICOS DE ALUMINIO.

EU-04 LUMINARIA MÁSTIL PARA ILUMINACIÓN DE PLAZA Y ESPACIOS PÚBLICOS. 8 MTS DE ALTURA.

EU-05 LETRERO 3D EN LÁMINA DE ACERO FIGURADA. FRASE "UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA". INCLUYE PINTURA ANTICORRSIVA COLOR NARANJA. DIMENSIONES Y DETALLES SEGÚN PLANIMETRÍA ARQUITECTÓNICA

REVISIONES			
B	21/12/24		NO VIGENTE
A	31/10/24		NO VIGENTE
^	FECHA	DESCRIPCIÓN	ESTATUS

NORTE Y ETIQUETAS NIVELES

N.A. 0.00 NIVEL CORTE
N.E. 0.00
N. 0.00 NIVEL PLANTA

NORTE

LOCALIZACIÓN

AV. ENRIQUE CANAVES
AV. PEREZO CANAVES

Representante legal: Aprobado por:

RECTOR REVISOR

Área Responsable: Vicerrectorado de Investigacion
Realizado por: Edison Henao C., / INMTEC M.P A2528202 - 71722817
Revisado por: Alejandro Perez B./ INMTEC M.P A2528202 - 79937762

Universidad Católica de Santa María

Centro de Investigación e Innovación Tecnológica CIIT -UCSM

Calle Cayetano Arenas 161, Mza. P. Lt. 5, Parque Industrial Arequipa, Arequipa

Plano/Especialidad: Proyecto ARQUITECTONICO
Código de Lámina: A-AR103-CIIT-VRINV-0-2025
Rev.: 0
Estatus: Activo
Fecha: 14/03/2025
Nombre de Lamina: SOTANO 1 N- 3.75 M
Número de Lámina: AR-103
Formato: A0
Escala: INDICADA
Lámina de láminas: 3 de 23

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

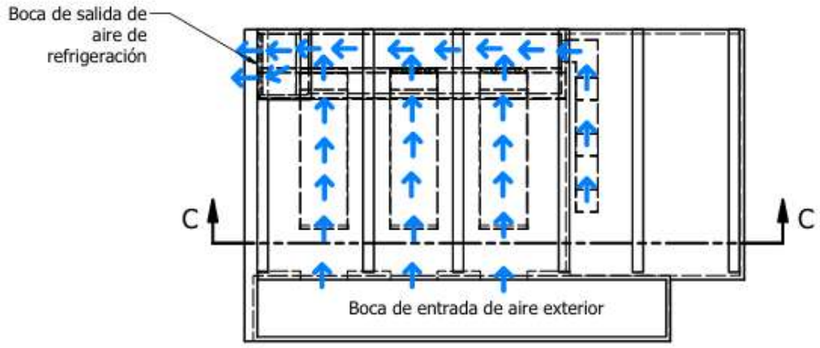
Anexo 2. Esquema de flujo de aire en el recinto

Esquema que ilustra la dirección y dinámica del flujo de aire dentro del recinto, incluyendo entradas, salidas y zonas de paso forzado.

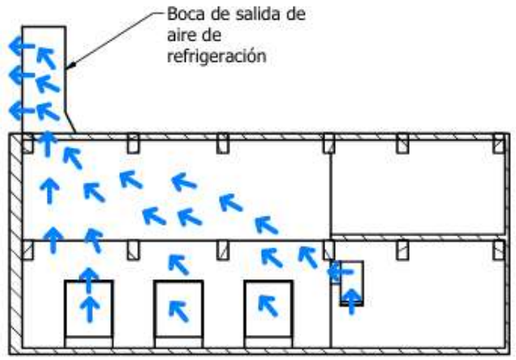
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
UNIVERSIDAD CATÓLICA

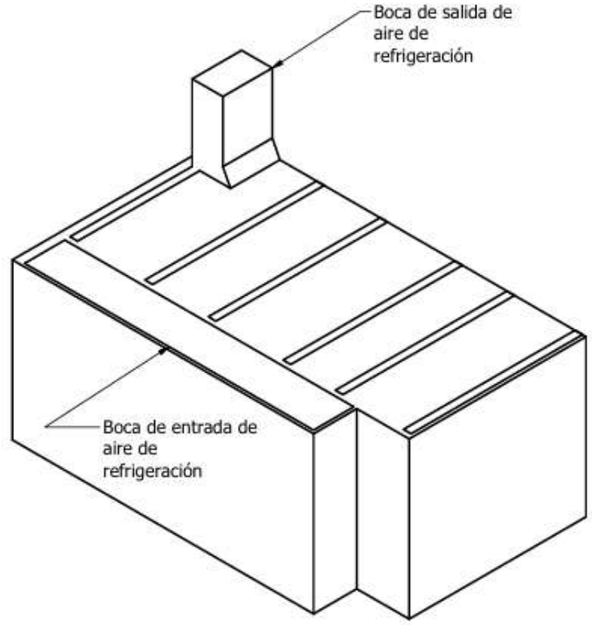
ESQUEMA DE FLUJO DE AIRE DENTRO DE LA CASA DE FUERZA DEL CIIT-UCSM

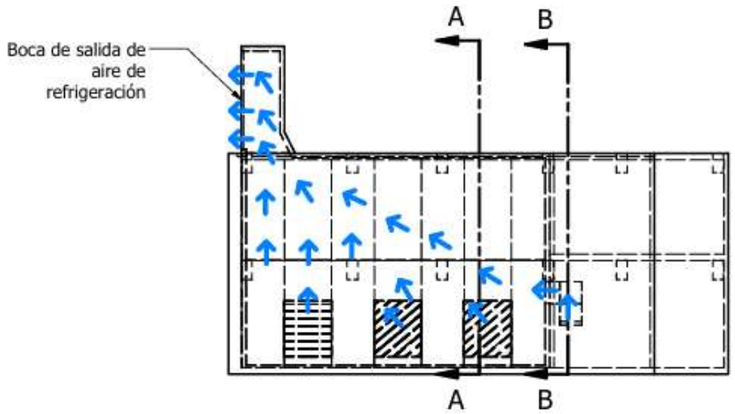


SUPERIOR

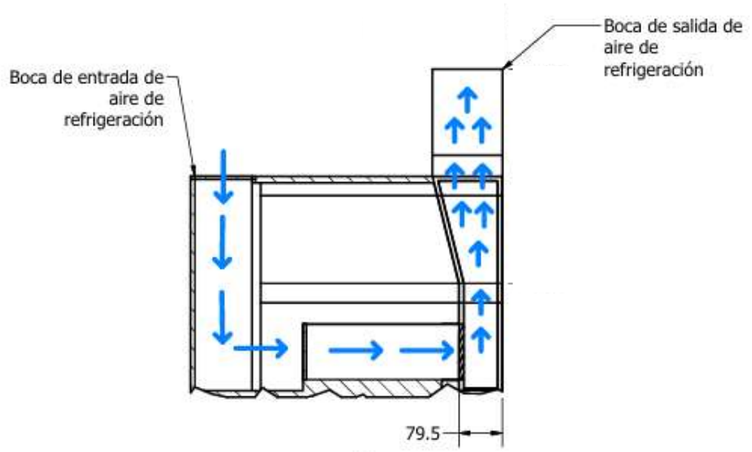


SECCIÓN C-C

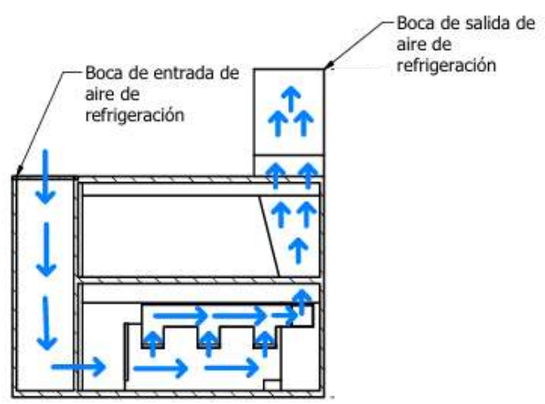




FRONTAL



SECCIÓN A-A



SECCIÓN B-B

Leyenda	
Símbolo	Description
G1	Generador 1
G2	Generador 2
G3	Generador 3
C1	Compresor 1
C2	Compresor 2
C3	Compresor 3
→	Flujo de aire de refrigeración

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 3. Reporte de simulación CFD: flujo de aire

Reporte técnico extraído de SolidWorks Flow Simulation, que analiza el comportamiento del aire en condiciones de operación, evaluando la eficiencia del sistema de ventilación.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Table of Contents

1 General Information 1
1.1 Analysis Environment 1
1.2 Model Information 1
1.3 Project Comments: 1
1.4 Size of Computational Domain 1
1.5 Simulation Parameters 1
1.5.1 Mesh Settings 1
1.5.2 Material Settings 2
1.5.3 Initial Conditions 2
1.5.4 Boundary Conditions 2
1.5.5 Volumetric Heat Sources 4
1.5.6 Engineering Goals 4
1.6 Analysis Time 6
2 Results 7
2.1 Analysis Goals 7
2.2 Global Min-Max-Table 7
2.3 Results ..... **¡Error! Marcador no definido.**
2.4 Conclusion ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3 Appendix 8
3.1 Material Data 8

DASSAULT SYSTEMES | The 3DEXPERIENCE Company

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1 General Information

Objective of the simulation: El objetivo de la presente simulación es el análisis del flujo del aire medio ambiental ingresando al recinto, y el desfogue del mismo una vez realizada la refrigeración del los equipos al interior del sótano.

1.1 Analysis Environment

Software Product:	Flow Simulation 2022 SP1.0. Build: 5482
CPU Type:	Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz
CPU Speed:	2496 MHz
RAM:	8099 MB / 807 MB
Operating System:	Windows 10 (or higher) (Version 10.0.22631)

1.2 Model Information

Model Name:	CHIMENEA 3.7.SLDPRT
Project Name:	PRUEBA 2

1.3 Project Comments:

Unit System:	SI (m-kg-s)
Analysis Type:	Internal

1.4 Size of Computational Domain

Size

X min	-7.424 m
X max	15.383 m
Y min	-0.025 m
Y max	15.015 m
Z min	-1.014 m
Z max	13.374 m
X size	22.806 m
Y size	15.040 m
Z size	14.389 m

1.5 Simulation Parameters

1.5.1 Mesh Settings

1.5.1.1 Basic Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	18
Number of cells in Y	12
Number of cells in Z	12

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5.1.2 Analysis Mesh

Total Cell count:	53578
Fluid Cells:	53578
Solid Cells:	26953
Partial Cells:	28254
Trimmed Cells:	0

1.5.1.3 Additional Physical Calculation Options

Heat Transfer Analysis:	Heat conduction in solids: Off
Flow Type:	Laminar and turbulent
Time-Dependent Analysis:	Off
Gravity:	Off
Radiation:	
Humidity:	Off
Default Wall Roughness:	0 micrometer

1.5.2 Material Settings

Material Settings

Fluids

Air

1.5.3 Initial Conditions

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 20.05 °C
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.146 m

1.5.4 Boundary Conditions

Boundary Conditions

Environment Pressure 4

Type	Environment Pressure
Faces	Cara<1>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.146 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 5

Type	Environment Pressure
Faces	Cara<1>
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.146 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Inlet Volume Flow 5

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Cara<1> Cara<3> Cara<2>
Coordinate system	Global Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 11.0200 m^3/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Approximate pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.146 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Inlet Volume Flow 4

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Cara<3> Cara<1> Cara<2>
Coordinate system	Global Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 1.0000 m^3/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0
Thermodynamic parameters	Approximate pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
SOLIDWORKS

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

	Intensity: 2.00 % Length: 0.146 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

1.5.5 Volumetric Heat Sources

1.5.6 Engineering Goals

Goals

Global Goals

GG Minimum Static Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Static Pressure 2

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Static Pressure 3

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Minimum Total Pressure 4

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Total Pressure 5

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Total Pressure 6

Type	Global Goal

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Minimum Temperature (Fluid) 7

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Temperature (Fluid) 8

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Temperature (Fluid) 9

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Minimum Velocity 10

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Velocity 11

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Velocity 12

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

Surface Goals

SG Volume Flow Rate 1

Type	Surface Goal

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
SOLIDWORKS

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Goal type	Volume Flow Rate
Faces	Cara<1> Cara<6> Cara<4> Cara<2> Cara<3> Cara<5>
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

1.6 Analysis Time

Calculation Time: 67 s
Number of Iterations: 76
Warnings: A vortex crosses the pressure opening Boundary Condition : Environment Pressure 4 ; Inlet flow/outlet flow=0.349174

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2 Results

2.1 Analysis Goals

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Criteria	Delta	Use in convergence
SG Volume Flow Rate 1	m^3/s	12.0200	100	0.00998568322	1.77635684e-15	On

2.2 Global Min-Max-Table

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m^3]	1.20	1.20
Pressure [Pa]	101322.27	101332.47
Temperature [°C]	20.05	20.05
Temperature (Fluid) [°C]	20.05	20.05
Velocity [m/s]	0	3.013
Velocity (X) [m/s]	-2.159	1.256
Velocity (Y) [m/s]	-1.178	2.841
Velocity (Z) [m/s]	-1.451	1.202
Mach Number [ ]	0	8.78e-03
Velocity RRF [m/s]	0	3.013
Velocity RRF (X) [m/s]	-2.159	1.256
Velocity RRF (Y) [m/s]	-1.178	2.841
Velocity RRF (Z) [m/s]	-1.451	1.202
Vorticity [1/s]	0	19.28
Relative Pressure [Pa]	-2.73	7.47
Shear Stress [Pa]	0	0.03
Bottleneck Number [ ]	0	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
ShortCut Number [ ]	0	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m^2]	0	0
Total Enthalpy Flux [W/m^2]	-773284.650	233116.451
Acoustic Power [W/m^3]	0	1.899e-14
Acoustic Power Level [dB]	0	0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3 Appendix

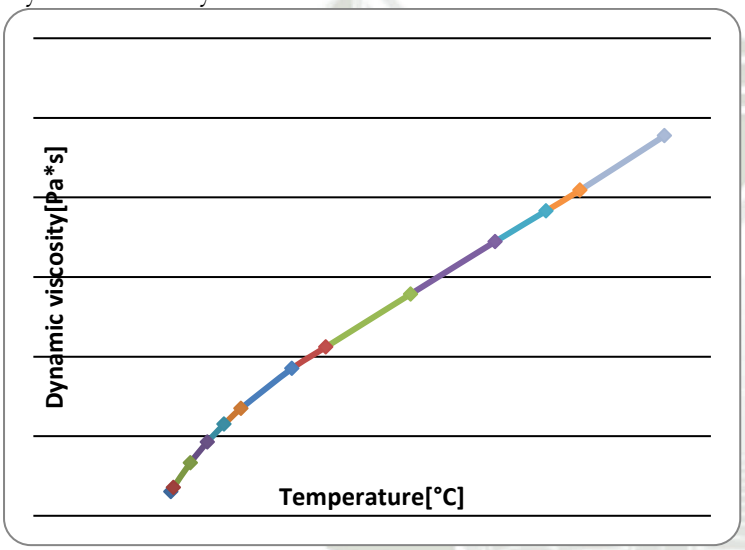
3.1 Material Data

Engineering Database

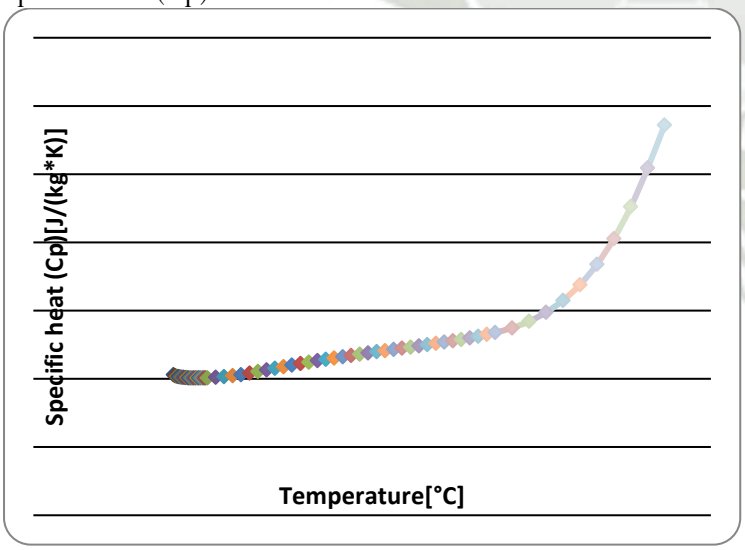
Gases

Air

Path: Gases Pre-Defined
Specific heat ratio (Cp/Cv): 1.399
Molecular mass: 0.0290 kg/mol
Dynamic viscosity



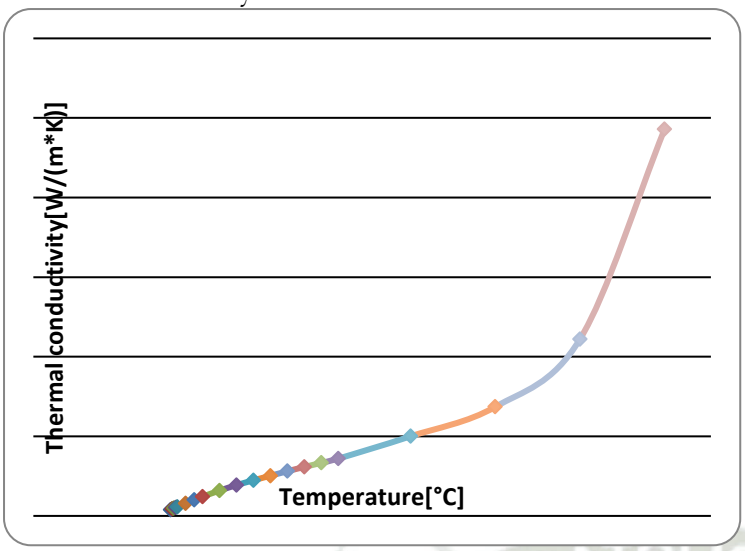
Specific heat (Cp)



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

Thermal conductivity



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 4. Reporte de simulación CFD: gases de escape

Resultados del modelado CFD sobre el comportamiento del monóxido de carbono y otros gases residuales generados por los grupos electrógenos, simulando su evacuación a través del sistema de extracción.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Table of Contents

1 General Information 1
1.1 Analysis Environment 1
1.2 Model Information 1
1.3 Project Comments: 1
1.4 Size of Computational Domain 1
1.5 Simulation Parameters 1
1.5.1 Mesh Settings 1
1.5.2 Material Settings 2
1.5.3 Initial Conditions 2
1.5.4 Boundary Conditions 2
1.5.5 Volumetric Heat Sources 3
1.5.6 Engineering Goals 3
1.6 Analysis Time 5
2 Results 6
2.1 Analysis Goals 6
2.2 Global Min-Max-Table 6
2.3 Results ..... **¡Error! Marcador no definido.**
2.4 Conclusion ..... **¡Error! Marcador no definido.**
3 Appendix 7
3.1 Material Data 7

DASSAULT SYSTEMES | The 3DEXPERIENCE Company

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1 General Information

Objective of the simulation: El objetivo de la presente simulación es el análisis del flujo de CO2 a través de las tuberías de escape de los generadores y el desfogue del mismo una vez realizada la combustión en los equipos generadores al interior del sótano.

1.1 Analysis Environment

Software Product:	Flow Simulation 2022 SP1.0. Build: 5482
CPU Type:	Intel(R) Core(TM) i5-10300H CPU @ 2.50GHz
CPU Speed:	2496 MHz
RAM:	8099 MB / 1076 MB
Operating System:	Windows 10 (or higher) (Version 10.0.22631)

1.2 Model Information

Model Name:	Ensamblaje TUB GENERADOR 2.SLDASM
Project Name:	ESCAPE GEN 2

1.3 Project Comments:

Unit System:	SI (m-kg-s)
Analysis Type:	Internal

1.4 Size of Computational Domain

Size

X min	-15.798 m
X max	-1.697 m
Y min	-42.675 m
Y max	3.810 m
Z min	-6.190 m
Z max	-0.274 m
X size	14.101 m
Y size	46.485 m
Z size	5.917 m

1.5 Simulation Parameters

1.5.1 Mesh Settings

1.5.1.1 Basic Mesh

Basic Mesh Dimensions

Number of cells in X	12
Number of cells in Y	43
Number of cells in Z	6

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

1.5.1.2 Analysis Mesh

Total Cell count:	2729
Fluid Cells:	2729
Solid Cells:	7260
Partial Cells:	2343
Trimmed Cells:	0

1.5.1.3 Additional Physical Calculation Options

Heat Transfer Analysis:	Heat conduction in solids: Off
Flow Type:	Laminar and turbulent
Time-Dependent Analysis:	Off
Gravity:	Off
Radiation:	
Humidity:	Off
Default Wall Roughness:	0 micrometer

1.5.2 Material Settings

Material Settings

Fluids

Carbon dioxide

1.5.3 Initial Conditions

Initial Conditions

Thermodynamic parameters	Static Pressure: 101325.00 Pa Temperature: 20.05 °C
Velocity parameters	Velocity vector Velocity in X direction: 0 m/s Velocity in Y direction: 0 m/s Velocity in Z direction: 0 m/s
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.059 m

1.5.4 Boundary Conditions

Boundary Conditions

Inlet Volume Flow 1

Type	Inlet Volume Flow
Faces	Cara<1>@LID13-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Flow parameters	Flow vectors direction: Normal to face Volume flow rate: 1.9200 m^3/s Fully developed flow: No Inlet profile: 0

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Thermodynamic parameters	Approximate pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 455.00 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.059 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

Environment Pressure 2

Type	Environment Pressure
Faces	Cara<1>@LID14-1
Coordinate system	Face Coordinate System
Reference axis	X
Thermodynamic parameters	Environment pressure: 101325.00 Pa Temperature type: Temperature of initial components Temperature: 20.05 °C
Turbulence parameters	Turbulence intensity and length Intensity: 2.00 % Length: 0.059 m
Boundary layer parameters	Boundary layer type: Turbulent

1.5.5 Volumetric Heat Sources

1.5.6 Engineering Goals

Goals

Global Goals

GG Minimum Static Pressure 1

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Static Pressure 2

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Static Pressure 3

Type	Global Goal
Goal type	Static Pressure
Calculate	Maximum value

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis
SOLIDWORKS

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Minimum Total Pressure 4

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Total Pressure 5

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Total Pressure 6

Type	Global Goal
Goal type	Total Pressure
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Minimum Temperature (Fluid) 7

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Average Temperature (Fluid) 8

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Temperature (Fluid) 9

Type	Global Goal
Goal type	Temperature (Fluid)
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Minimum Velocity 10

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Minimum value
Coordinate system	Global Coordinate System

SOLIDWORKS
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Use in convergence	On

GG Average Velocity 11

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Average value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

GG Maximum Velocity 12

Type	Global Goal
Goal type	Velocity
Calculate	Maximum value
Coordinate system	Global Coordinate System
Use in convergence	On

1.6 Analysis Time

Calculation Time: 15 s
Number of Iterations: 160
Warnings:

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

2 Results

2.1 Analysis Goals

Goals

Name	Unit	Value	Progress	Criteria	Delta	Use in convergence

2.2 Global Min-Max-Table

Min/Max Table

Name	Minimum	Maximum
Density (Fluid) [kg/m^3]	0.73	1.03
Pressure [Pa]	100891.64	109488.34
Temperature [°C]	242.39	455.72
Temperature (Fluid) [°C]	242.39	455.72
Velocity [m/s]	0	75.109
Velocity (X) [m/s]	-4.092	73.537
Velocity (Y) [m/s]	-22.082	62.499
Velocity (Z) [m/s]	-75.091	71.991
Mach Number [ ]	0	0.19
Velocity RRF [m/s]	0	75.109
Velocity RRF (X) [m/s]	-4.092	73.537
Velocity RRF (Y) [m/s]	-22.082	62.499
Velocity RRF (Z) [m/s]	-75.091	71.991
Vorticity [1/s]	6.02e-03	2888.83
Relative Pressure [Pa]	-433.36	8163.34
Shear Stress [Pa]	2.84e-03	14.51
Bottleneck Number [ ]	3.5620732e-07	1.0000000
Heat Transfer Coefficient [W/m^2/K]	0	0
ShortCut Number [ ]	2.5067198e-09	1.0000000
Surface Heat Flux [W/m^2]	0	0
Surface Heat Flux (Convective) [W/m^2]	0	0
Total Enthalpy Flux [W/m^2]	-9349536.303	2.162e+07
Acoustic Power [W/m^3]	0	2.422e-06
Acoustic Power Level [dB]	0	63.84

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

3 Appendix

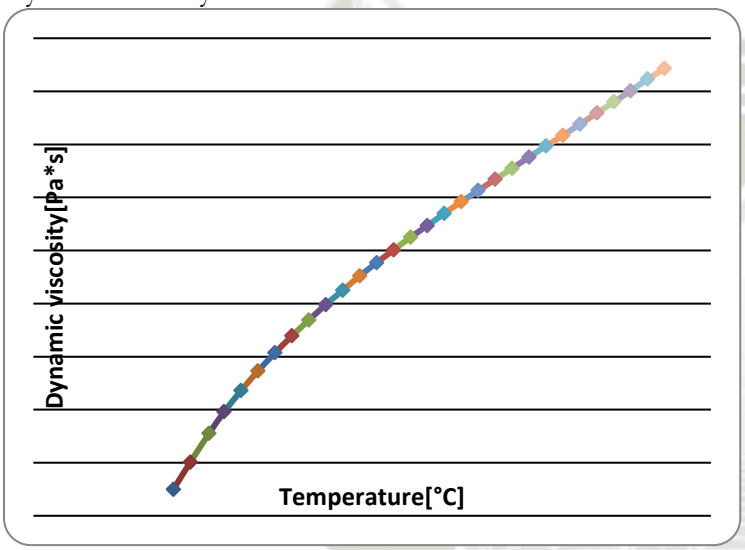
3.1 Material Data

Engineering Database

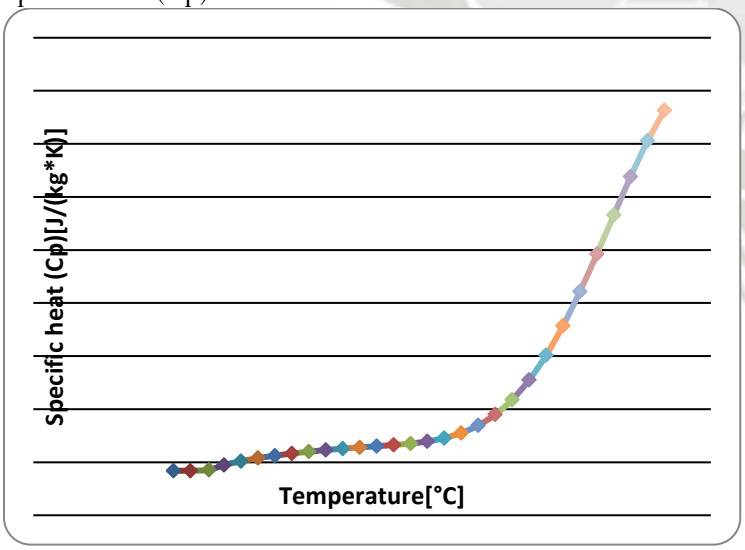
Gases

Carbon dioxide

Path: Gases Pre-Defined
Specific heat ratio (Cp/Cv): 1.287
Molecular mass: 0.0440 kg/mol
Dynamic viscosity



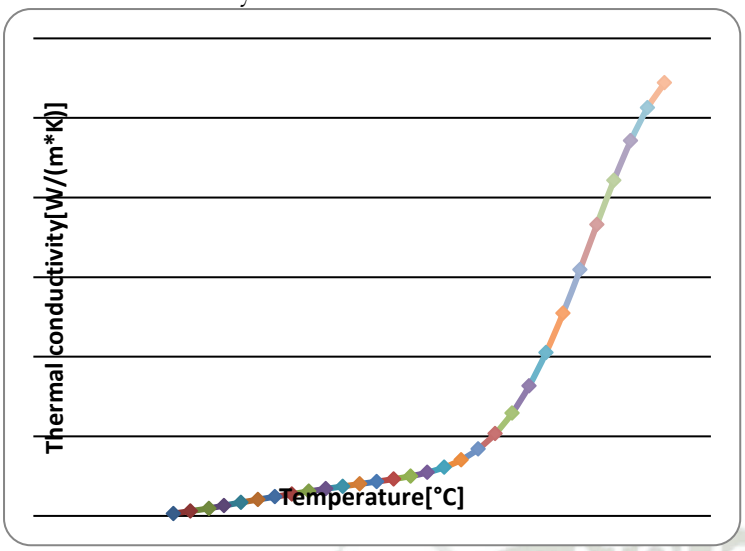
Specific heat (Cp)



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

Thermal conductivity



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 4. Ficha técnica de Generador Caterpillar

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

Cat® DE800S GC

Diesel Generator Sets



Image shown might not reflect actual configuration.

Engine	Cat® C27
Bore – mm (in)	137.2 (5.4)
Stroke – mm (in)	152.4 (6.0)
Displacement – L (in^3)	27.03 (1649.47)
Compression Ratio	16.5:1
Aspiration	TA
Fuel System	MEUI
Governor Type	ADEM™ A4

Model	Standby 60 Hz kVA (ekW)	Emissions Performance
DE800S GC	1000 (800)	Optimized for Low Fuel Consumption

Standard Features

Cat® Diesel Engine

- Designed and optimized for low fuel consumption
- Industry-leading mechanical and electrical design
- Industry-leading motor starting capabilities
- High efficiency

Generator Set Package

- Conforms to ISO8528-5 G3 load acceptance requirements
- Reliability is verified through prototype testing, which includes torsional vibration, fuel consumption, oil consumption, transient performance, and endurance testing

Alternators

- Superior motor starting capability minimizes the need for oversizing the generator
- Designed to match the performance and output characteristics of Cat diesel engines

Cooling System

- Cooling systems available to operate in ambient temperatures 50°C @ 0 m
- Tested to ensure proper generator set cooling

GCCP Control Panels

- User-friendly set-up and button layout for ease of use
- Multiple parameters are monitored & displayed simultaneously for full visibility
- vThe module can be configured to suit a wide range of applications for user flexibility

Warranty

- 24 months/1000-hour warranty for standby and mission critical ratings
- Extended service protection is available to provide extended coverage options

Worldwide Product Support

- Cat dealers have over 1,800 dealer branch stores operating in 200 countries
- Your local Cat dealer provides extensive post-sale support, including maintenance and repair agreements

Financing

- Caterpillar offers an array of financial products to help you succeed through financial service excellence
- Options include loans, finance lease, operating lease, working capital, and revolving line of credit
- Contact your local Cat dealer for availability in your region

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Standard and Optional Equipment

Engine

Air Cleaner

- ❑ Single element
- ❑ Dual element

Starting

- ❑ Standard batteries
- ❑ Jacket water heater

Engine Attachments

- ❑ Manual Sump Pump
- ❑ Fuel Transfer Pump (With fuel tank base only)
- ❑ 6” Exhaust Flexible Fittings
- ❑ 6” Exhaust Flange Kits

Alternator

Output voltage

- ❑ 380V ❑ 480V

Temperature Rise (over 40°C ambient)

- ❑ 150°C

Winding type

- ❑ Random wound

Excitation

- ❑ Internal excitation (IE)
- ❑ Permanent magnet (PM)

Attachments

- ❑ Anti-condensation heater

Power Termination

Type

- ❑ Power Terminal Strips
- ❑ Circuit breaker
- ❑ 1600A
- ❑ 3-pole ❑ 4-pole
- ❑ Manually operated
- ❑ Electrically operated

Factory Enclosure

- ❑ Sound attenuated

Attachments

- ❑ DC lighting package

Fuel Tank

- ❑ 1000 L (264 gal) (With Enclosure only)

Control System

Controller

- ❑ GCCP 1.3
- ❑ GCCP 1.4

Attachments

- ❑ Ground Fault Indication

Charging

- ❑ Battery charger – 10A

Cat Connect

Connectivity

- ❑ Ethernet
- ❑ Cellular

Extended Service Options

Terms

- ❑ 3 year
- ❑ 4 year
- ❑ 5 year

Coverage

- ❑ Silver
- ❑ Gold

Note: Some options may not be available on all models. Certifications may not be available with all model configurations. Consult factory for availability.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA M...

Package Performance – DE800S GC

Performance	Standby	
Frequency	60 Hz	
Gen set power rating with fan	800 ekW	
Gen set power rating with fan @ 0.8 power factor	1000 kVA	
Fueling strategy	Low Fuel	
Performance number	DM9068-01	
Fuel Consumption		
100% load with fan – L/hr (gal/hr)	213.3	(56.3)
75% load with fan – L/hr (gal/hr)	164.6	(43.5)
50% load with fan – L/hr (gal/hr)	117.3	(31.0)
25% load with fan – L/hr (gal/hr)	72.0	(19.0)
Cooling System		
Radiator air flow restriction (system) – kPa (in. water)	0.12	(0.48)
Radiator air flow – m^3/min (cfm)	943	(33301)
Engine coolant capacity – L (gal)	55	(14.5)
Radiator coolant capacity – L (gal)	49	(12.9)
Total coolant capacity – L (gal)	104	(27.5)
Inlet Air		
Combustion air inlet flow rate – m^3/min (cfm)	58.2	(2055.3)
Exhaust System		
Exhaust stack gas temperature – °C (°F)	523.6	(974.4)
Exhaust gas flow rate – m^3/min (cfm)	160.3	(5661.7)
Exhaust system backpressure (maximum allowable) – kPa (in. water)	6.7	(27.0)
Heat Rejection		
Heat rejection to jacket water – kW (Btu/min)	350	(19909)
Heat rejection to exhaust (total) – kW (Btu/min)	765	(43510)
Heat rejection to aftercooler – kW (Btu/min)	140	(7966)
Heat rejection to atmosphere from engine – kW (Btu/min)	105	(5950)
Heat rejection from alternator – kW (Btu/min)	57	(3213)
Emissions* (Nominal)		
NOx mg/Nm^3 (g/hp-h)	3371.2	(6.20)
CO mg/Nm^3 (g/hp-h)	137.1	(0.25)
HC mg/Nm^3 (g/hp-h)	7.7	(0.02)
PM mg/Nm^3 (g/hp-h)	5.0	(0.01)
Emissions* (Potential Site Variation)		
NOx mg/Nm^3 (g/hp-h)	4079.2	(7.51)
CO mg/Nm^3 (g/hp-h)	256.4	(0.48)
HC mg/Nm^3 (g/hp-h)	14.6	(0.03)
PM mg/Nm^3 (g/hp-h)	9.8	(0.02)

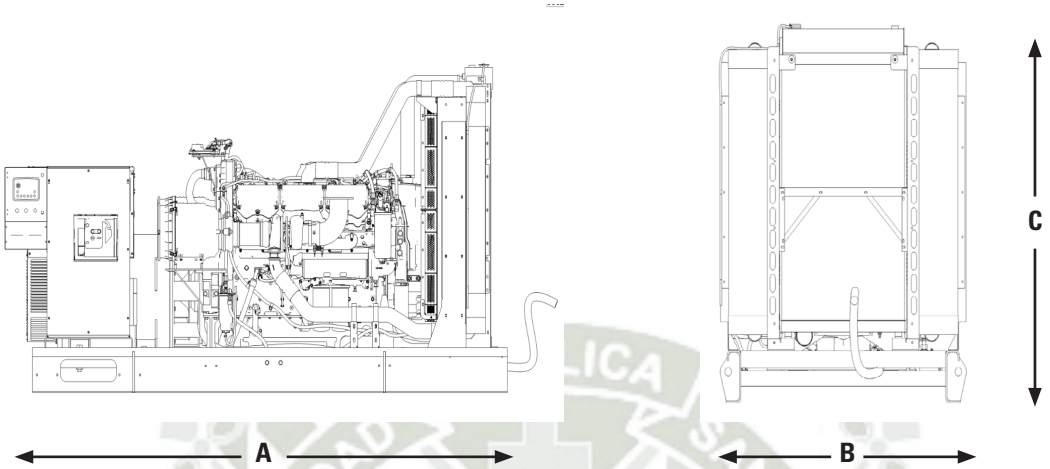
mg/Nm^3 levels are corrected to 5% O_2. Contact your local Cat dealer for further information.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

DE800S GC Diesel Generator Sets
Electric Power

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Weights and Dimensions



Model	Dim "A" mm (in)	Dim "B" mm (in)	Dim "C" mm (in)	Wet Weight kg (lb)
DE800S GC	4175 (164.3)	1856 (73.1)	2217.5 (87.3)	6212 (13695)

Note: *For reference only. Do not use for installation design. Contact your local Cat dealer for precise weights and dimensions.*

Ratings and Definitions

Standby

Output available with varying load for the duration of the interruption of the normal source power. Average power output is 70% of the standby power rating. Typical operation is 200 hours per year, with maximum expected usage of 500 hours per year.

Mission Critical

Output available with varying load for the duration of the interruption of the normal source power. Average power output is 85% of the mission critical power rating. Typical peak demand up to 100% of rated power for up to 5% of the operating time. Typical operation is 200 hours per year, with maximum expected usage of 500 hours per year.

Applicable Codes and Standards

IEC 60034-1, ISO 3046, ISO 8528.

Note: Codes may not be available in all model configurations. Please consult your local Cat dealer for availability.

Fuel Rates

Fuel rates are based on fuel oil of 35º API [16°C (60ºF)] gravity having an LHV of 42,780 kJ/kg (18,390 Btu/lb) when used at 29ºC (85ºF) and weighing 838.9 g/liter (7.001 lbs/U.S. gal.)

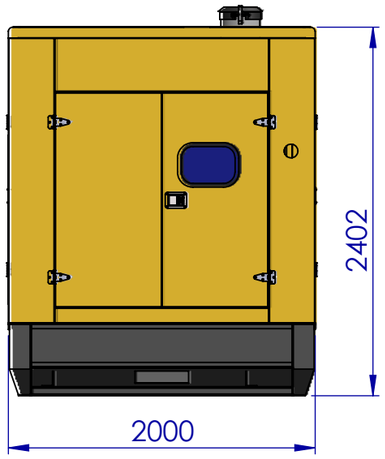
www.cat.com/electricpower
©2021 Caterpillar
All rights reserved.
Materials and specifications are subject to change without notice.
The International System of Units (SI) is used in this publication. CAT, CATERPILLAR, LET'S DO THE WORK, their respective logos, "Caterpillar Corporate Yellow", the "Power Edge" and Cat "Modern Hex" trade dress as well as corporate and product identity used herein, are trademarks of Caterpillar and may not be used without permission.

LET'S DO THE WORK.™

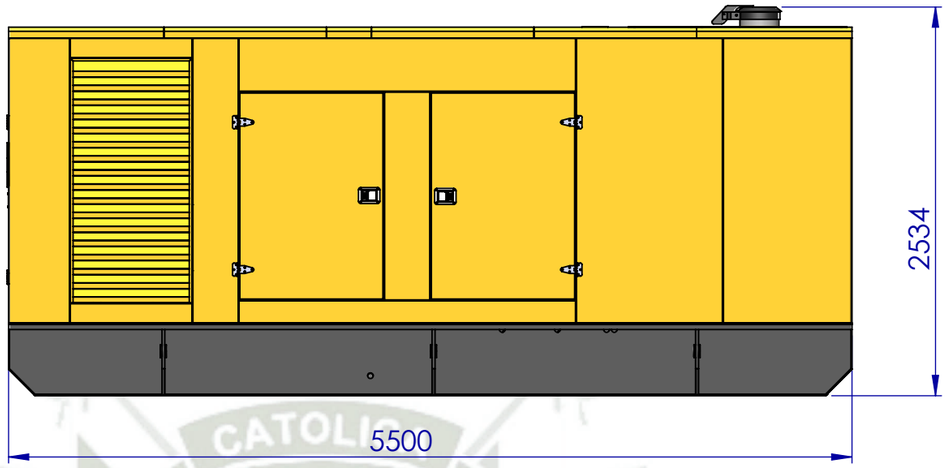
Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

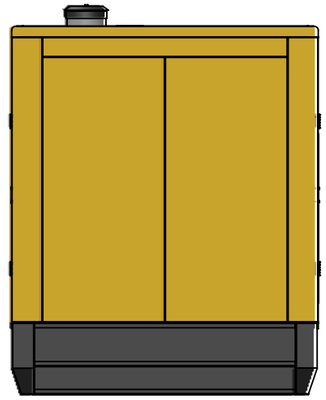
VISTA FRONTAL



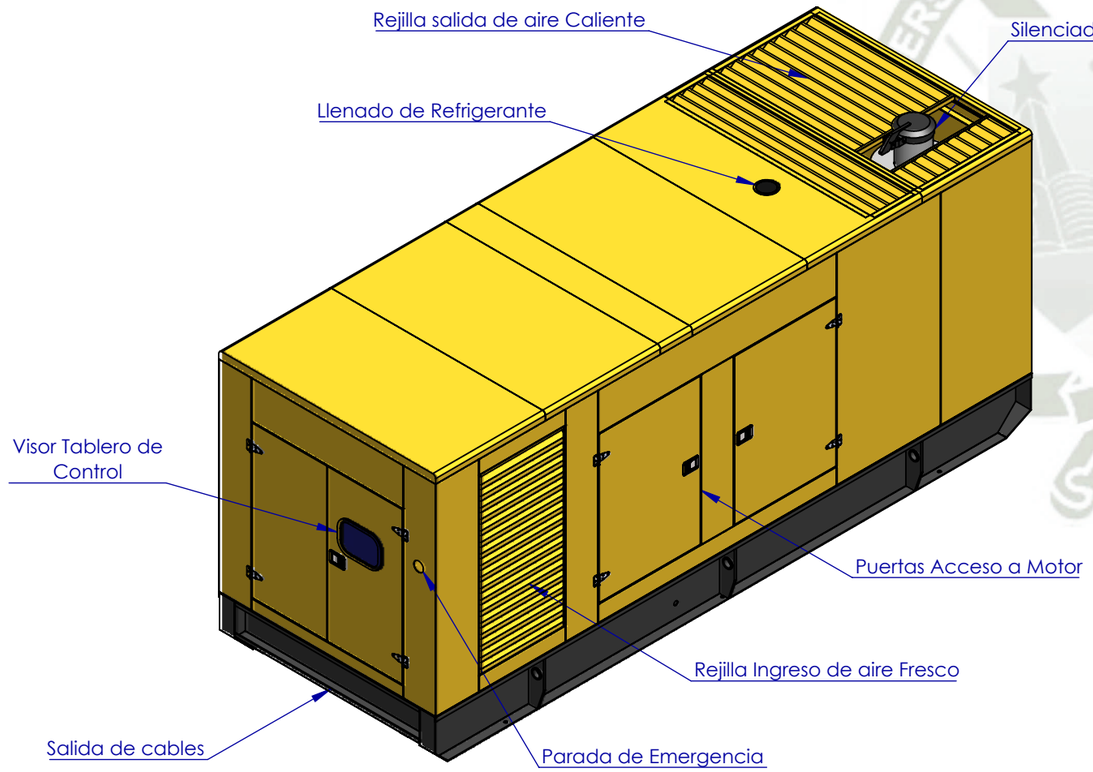
VISTA LATERAL



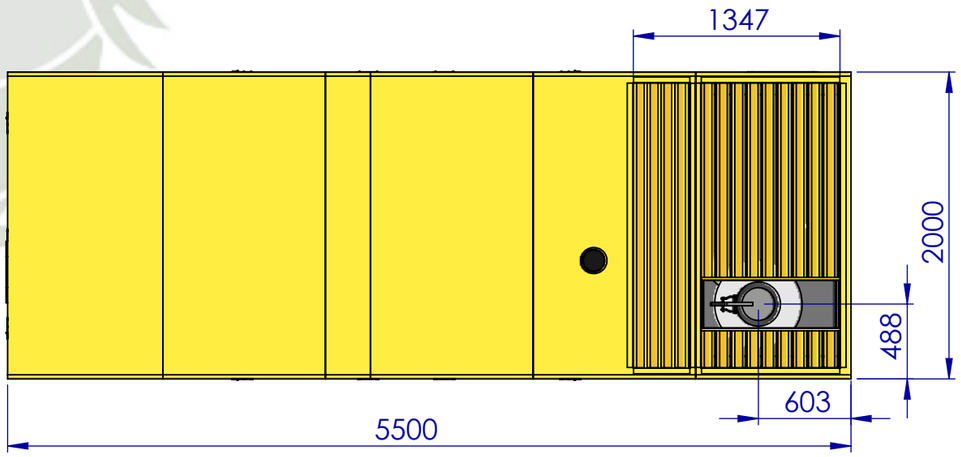
VISTA POSTERIOR



VISTA ISOMETRICA



VISTA DE PLANTA



CANTIDAD	MATERIAL	PESO UNIT.
1	ACERO A36	

NOTAS GENERALES:

1.- DIMENSIONES EN mm.
2.- MATERIAL: ACERO ESTRUCTURAL ASTM-A36
3.- PERNOS DE CONEXION: CALIDAD ASTM-A325
TUERCA ASTM A563 Y ARANDELA PLANA ASTM F436
4.- SOLDADURA: (S.I.C.) Y CON ELECTRODO AWS E70xx
5.- LA PINTURA SERA DE ACUERDO AL PEDIDO DEL CLIENTE

REVISIONES

REV.	DESCRIPCION	DIBUJADO	FECHA	APROBADO
A	Emitido para Aprobacion del Cliente	DCD	18/01/2024	

REFERENCIA

Ferreyros CAT
UNA EMPRESA FERREYCORP

PROYECTO: GRUPO ELECTROGENO CAT C18 600kW

TITULO: MEDIDAS GENERALES
ENCAPSULADO GRUPO ELECTROGENO
CAT C18 600kW

Nº PLANO: PL - CAT001

Nº REV.: 0

DISEÑADO	D.C.D	18/01/2024
DIBUJADO	D.C.D	18/01/2024
REVISADO		18/01/2024
APROBADO		18/01/2024

Nº O.T. : 001
ESC. : 1:40
FORMATO: A3

ESTE PLANO Y LA INFORMACION CONTENIDA EN EL SON PROPIEDADES DE FERREYROS SAC. SU USO Y REPRODUCCION SIN AUTORIZACION, ESTA PROHIBIDA

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

D.C.D: Daniel Roger Cristobal Diaz

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Anexo 4. Ficha técnica de compresores de tornillo

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

COMPRESORES DE TORNILLO ROTATIVOS CON INYECCIÓN DE ACEITE

GA 5-11 (5,5-11 kW/7,5-15 CV)



Atlas Copco



LA SOLUCIÓN INTELIGENTE DEFINITIVA

Los compresores GA de Atlas Copco ofrecen un rendimiento extraordinario, un funcionamiento flexible y una alta productividad, a la vez que reducen el coste total de propiedad. Con equipos construidos para trabajar en los entornos más duros, Atlas Copco se compromete a mantener su producción en perfecto funcionamiento.



La mayor fiabilidad

Las series GA se diseñan, fabrican y prueban de acuerdo con ISO 9001, ISO 14001 e ISO 1217, Ed. 4, Anexo C/E. Con la garantía de una larga vida útil y con los mínimos costes operativos, el GA incorpora la última generación del innovador elemento de tornillo con inyección de aceite de Atlas Copco.

Mínimos costes de energía

La energía puede representar más del 80% de los costes del ciclo de vida de un compresor. La producción de aire comprimido puede suponer más del 40% de la factura de electricidad total de una planta. Con el elemento de alta eficiencia y el innovador sistema de integración Atlas Copco de todos los componentes, los compresores GA pueden minimizar los costes de energía y los costes generales durante su ciclo de vida.

Integración del sistema de aire

El GA WorkPlace Air System se puede instalar junto al punto de uso gracias a su bajo nivel sonoro. Asimismo, como el equipo de tratamiento de aire está integrado y el depósito está montado debajo del compresor, se elimina la necesidad de una sala de compresores independiente. Además, todos los compresores se entregan listos para funcionar, por lo que los costes de instalación se reducen al mínimo.

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

GA 5-11: LA SOLUCIÓN MÁS INTELIGENTE

Capaces de enfrentarse a todos los retos diarios, los compresores GA de Atlas Copco e alto rendimiento montados sobre depósito superan cualquier desafío para la industria ligera. Listos para suministrar aire de alta calidad, mantienen limpia la red de aire y la producción en marcha.



1

Tren de accionamiento optimizado

Fiabilidad sin precedentes durante toda la vida útil del sistema gracias al tren de engranajes accionado por correa, desarrollado de acuerdo con los estándares más exigentes del sector



2

Elemento de nueva generación

- Equipados con un elemento de nueva generación y una perfecta disposición de rodamientos y retenes.
- Adecuados para entornos con temperaturas ambiente de hasta 46°C gracias al diseño mejorado de los componentes.
- Gracias al concepto optimizado de integración de componentes y el nuevo elemento compresor, el aire libre suministrado se ha incrementado hasta en un 8% y el consumo de energía se ha reducido hasta en un 7%.





3

Secador integrado

- Equipos neumáticos protegidos aguas abajo en todas las condiciones de trabajo: el secador integrado evita el condensado y la corrosión de la red.
- Ahorros de energía adicionales gracias al purgador electrónico del secador sin pérdidas de aire.
- Se pueden añadir filtros opcionales para obtener una calidad del aire de hasta grado 1 (<0,01 ppm).
- Separador de agua incluido de serie.

émicos e investigativos
iar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

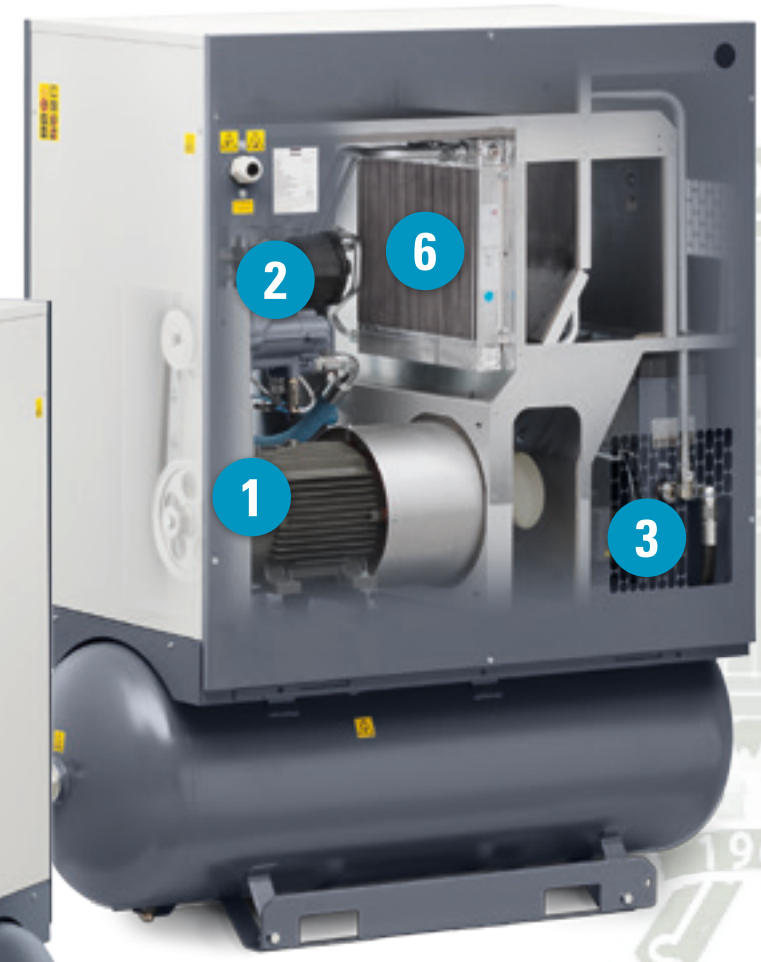
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA



5

Filtro de aceite y separador de aceite

- Protección contra la contaminación por aceite: arrastre de aceite extremadamente bajo gracias al diseño vertical del depósito de aceite.
- Pérdidas de aire comprimido extremadamente bajas durante el ciclo de carga/descarga gracias al tamaño minimizado del depósito de aceite.





4

Controlador Elektronikon®

- Visor del estado del compresor en línea basado en Web incluido en el nuevo Elektronikon® para monitorización remota usando una conexión Ethernet estándar.
- Las funciones de monitorización del regulador Elektronikon® incluyen nuevas indicaciones de servicio y de aviso, detección de errores y parada del compresor. El controlador opcional Elektronikon® Gráfico ofrece más funciones visuales de indicación y aviso de servicio.



6

Fácil instalación

- Como solución realmente lista para funcionar y que puede instalarse cerca del punto de uso, el GA es ideal para empresas de instalación y fabricantes OEM.
- Opcionalmente, el sistema se puede ampliar con un secador integrado, filtros de aire y un depósito de 270 l (500 l opcional) montado en fábrica.
- Transporte sencillo mediante carretilla elevadora.
- Equipados de serie con un cable de alimentación de 3 metros.
- Reducción de los costes de servicio gracias a los fungibles de alta calidad, fácilmente reemplazables y duraderos.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

UN GRAN AVANCE EN MONITORIZACIÓN Y CONTROL

El sistema Elektronikon® de nueva generación ofrece una gran variedad de funciones de control y monitorización para mejorar la eficiencia y la fiabilidad. El Elektronikon® controla el motor de accionamiento principal y regula la presión del sistema dentro de una banda predefinida y estrecha.



Controlador Elektronikon®

- Mayor sencillez de uso: sistema de navegación intuitivo con pictogramas claros y un cuarto indicador LED extra para servicio.
- Visualización en línea gratuita del estado del compresor a través de un explorador web usando una conexión Ethernet estándar.
- Fácil de actualizar.
- Máxima fiabilidad: teclado más duradero.

Características clave

- Rearranque automático después de un fallo del suministro eléctrico.
- Doble banda de presión.
- Función de segunda parada retardada.
- Opción de actualización al avanzado controlador Elektronikon® gráfico.



Visualización en línea gratuita

Monitorice sus compresores a través de Ethernet con los nuevos controladores Elektronikon®. Las funciones de monitorización incluyen indicaciones de aviso, parada del compresor y programas de mantenimiento, todo posible con la visualización en línea gratuita del estado del compresor. El servicio SMS, las tendencias y los eventos históricos remotos son opcionales a través del programa de conectividad.

Pu
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Controlador de compresores integrado opcional

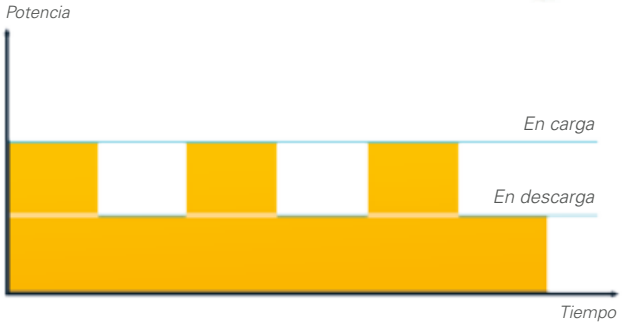
Para reducir la presión del sistema y el consumo de energía en instalaciones de hasta 4 (ES4i) o 6 (ES6i) compresores, se puede instalar el controlador de compresores integrado opcional mediante una simple licencia.



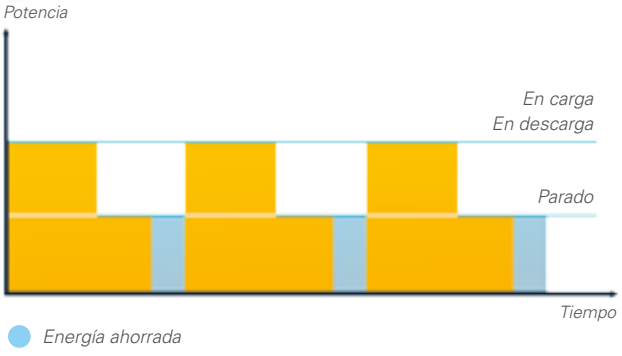
Doble banda de presión y segunda parada retardada

El proceso de producción crea niveles fluctuantes de demanda de aire, lo cual puede ocasionar pérdidas de energía en períodos de uso cortos. El Elektronikon® puede crear manual o automáticamente dos bandas distintas de presión del sistema para optimizar el consumo de energía y reducir los costes en caso de tiempos de uso cortos. Además, la sofisticada segunda parada retardada (DSS), hace funcionar el motor de accionamiento sólo cuando es necesario. Como se mantiene la presión del sistema deseada a la vez que se minimiza el tiempo de funcionamiento del motor de accionamiento, el consumo de energía se mantiene al mínimo.

Sin DSS



Con DSS



Ciclo de ahorro

La tecnología del ciclo de ahorro reduce el consumo de energía. El Elektronikon® está vinculado a ambos ciclos de ahorro: ventilador y secador. Monitorizando la temperatura del aceite, el ciclo de ahorro del ventilador regula su funcionamiento y minimiza el consumo de energía. Usando un sensor de ambiente para monitorizar la supresión del punto de rocío requerida, el ciclo de ahorro del secador arranca y detiene el secador cuando el compresor ha parado, minimizando el consumo de energía y protegiendo el sistema de aire contra la corrosión.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

EXCELENCIA EN CALIDAD DE AIRE

El aire comprimido sin tratar contiene humedad, aerosoles y partículas contaminantes que pueden dañar el sistema de aire y deteriorar el producto final. Los costes de mantenimiento resultantes pueden superar con creces los costes del tratamiento de aire. Nuestros compresores ofrecen un aire seco y limpio que mejora la fiabilidad del sistema, evitando costosos tiempos de parada y retrasos de producción, y protegiendo a la vez la calidad de sus productos. El aire limpio y tratado también reduce el riesgo de corrosión y fugas en el sistema de aire comprimido, contribuyendo a unos importantes ahorros de coste. Además, reduciendo al mínimo las fugas y las pérdidas de energía, y suprimiendo la eliminación poco segura de los condensados sin tratar, podrá proteger el medio ambiente y cumplir las normas internacionales más rigurosas.

Características de ahorro

Ahorros de energía medio del 30% con la nueva gama de secadores integrados

- El potencial de calentamiento global ha disminuido significativamente en una media del 50% gracias a la reducción de la cantidad de refrigerante en el nuevo secador.
- El empleo del eficiente refrigerante R134a reduce los costes operativos.
- Propiedades ecológicas.
- El exclusivo control del ciclo de ahorro, con sensor de temperatura ambiente y basado en la carga del secador y la humedad relativa del aire comprimido, ahorra energía a carga parcial.
- Baja caída de presión en el intercambiador de calor con separador de agua integrado.
- Pérdida cero de aire comprimido gracias al exclusivo purgador de condensado sin escapes de aire.
- Punto de rocío a presión de 3°C (humedad relativa del 100% a 20°C).



Grado de calidad ISO*	Tamaño de partículas de suciedad	Punto de rocío a presión**	Concentración de aceite
3.-.4	3 micras	-	2 ppm
3.4.4	3 micras	+3°C, 37°F	2 ppm
2.4.2	1 micra	+3°C, 37°F	0.1 ppm
1.4.1	0.01 micras	+3°C, 37°F	0.01 ppm

** Los valores de la tabla son los límites máximos de acuerdo con el respectivo grado de calidad ISO.*
*** Punto de rocío a presión basado en una humedad relativa del 100% a 20 °C/68 °F.*

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

ADAPTADO A SUS NECESIDADES

Algunas aplicaciones pueden necesitar, o se pueden beneficiar, de opciones adicionales y de sistemas más complejos de control y de tratamiento del aire. Para satisfacer esas necesidades, Atlas Copco ha desarrollado un equipo compatible fácilmente integrado y con opciones que proporciona aire comprimido de alta calidad a un coste mínimo.

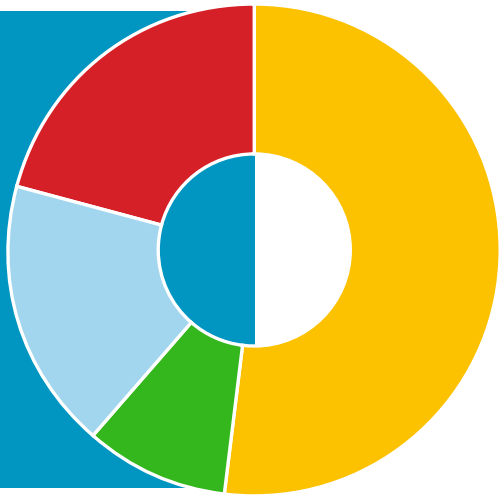


	GA 5-11
Juego de filtros integrado de clase 1	●
Juego de filtros integrado de clase 2	●
Bypass del secador	●
Separador de aceite/agua (OSD) integrado	●
Purgador de agua electrónico (EWD) en unidades Pack (refrigerador)	●
Depósito de aire de 500 l	●
Purgador de agua electrónico (EWD) en depósito de 500 l	●
Separador de aceite/agua OSD integrado	●
Relé de secuencia de fases	●
Termostato tropical	●
Protección contra congelación	●
Filtro de aspiración para trabajos pesados	●
Protección contra la lluvia	●
Interruptor general de alimentación eléctrica	●
Actualización al Elektronikon® Gráfico	●
Relés para selector de secuencia ES 100	●
Aceite Roto–Xtend duty	●
Licencia de control central para 4 (ES4i) o 6 (ES6i) máquinas en Elektronikon® Gráfico	●
Regulación modulada	●
Variantes para alta temperatura ambiente	●
Aceite de grado alimentario	●
Ciclo de ahorro del secador	●
Prefiltro de entrada del compresor	●
Calentador del motor + termistores*	●

√ : *Estándar* ● : *Opcional* - : - : *No disponible*

Elementos de ahorro de energía

- *Ahorro por control de ciclo*
- *Intercambiador de calor Purgador de condensado sin pérdida de aire*
- *Refrigerante eficiente R134a*
- *Baja caída de presión*

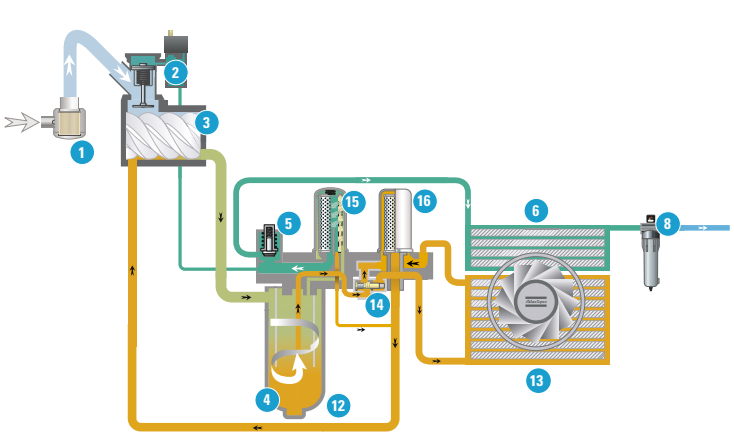


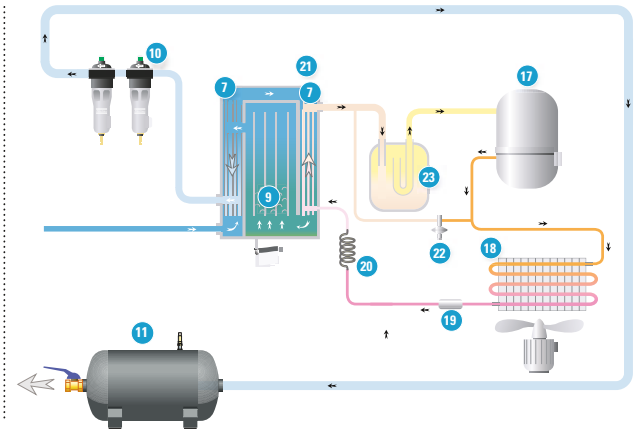
ıicos e investigativos
esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

DIAGRAMA DE FLUJO





- *Aire de aspiración*
- *Mezcla de aire/aceite*
- *Aceite*
- *Aire comprimido sin agua libre*
- *Aire comprimido húmedo*
- *Aire comprimido seco*
- *Agua*
- *Mezcla de refrigerante gas/líquido*
- *Refrigerante gas caliente, alta presión*
- *Refrigerante gas frío, baja presión*
- *Refrigerante líquido a alta presión*
- *Refrigerante líquido a baja presión*

Circuito de aire

1. Filtro de aspiración de aire
2. Válvula de aspiración de aire
3. Elemento de compresión
4. Depósito separador de aire/aceite
5. Válvula de presión mínima
6. Refrigerador posterior
7. Intercambiador de calor aire/aire
8. Separador de agua (sólo versiones Pack)
9. Separador de agua con purgador
10. Filtros DD/PD
11. Depósito de aire

Circuito de aceite

12. Aceite
13. Refrigerador de aceite
14. Válvula termostática
15. Separador de aceite
16. Filtro de aceite

Circuito de refrigerante

17. Compresor de refrigerante
18. Condensador
19. Filtro de refrigerante líquido
20. Capilar
21. Evaporador
22. Válvula de derivación de gas caliente
23. Válvula de aspiración de aire

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS GA 5-7-11

TIPO DE COMPRESOR		Presión de trabajo WorkPlace		Capacidad FAD* mín.-máx.			Potencia instalada del motor		Nivel sonoro**	Peso (kg)			
										WorkPlace		WorkPlace Full Feature	
		bar(e)	psig	l/s	m3/h	cfm	kW	CV	dB(A)	Montado sobre suelo	Montado sobre depósito	Montado sobre suelo	Montado sobre depósito
Versión 50 Hz													
GA 5	7.5	7.5	109	15.0	54.0	31.7	5.5	7.5	60	257	317	300	360
	8.5	8.5	123	13.2	47.5	27.9	5.5	7.5	60	257	317	300	360
	10	10	145	11.7	42.1	24.7	5.5	7.5	60	257	317	300	360
	13	13	189	8.4	30.2	17.7	5.5	7.5	60	257	317	300	360
GA 7	7.5	7.5	109	21.0	75.6	44.3	7.5	10	61	270	330	315	375
	8.5	8.5	123	19.6	70.6	41.5	7.5	10	61	270	330	315	375
	10	10	145	17.2	61.9	36.3	7.5	10	61	270	330	315	375
	13	13	189	14.2	51.1	30.0	7.5	10	61	270	330	315	375
GA 11	7.5	7.5	109	30.7	110.5	64.8	11	15	62	293	353	343	403
	8.5	8.5	123	28.3	101.9	59.7	11	15	62	293	353	343	403
	10	10	145	26.0	93.6	54.9	11	15	62	293	353	343	403
	13	13	189	22.0	79.2	46.5	11	15	62	293	353	343	403

TIPO DE COMPRESOR		Presión de trabajo WorkPlace		Capacidad FAD* mín.-máx.			Potencia instalada del motor		Nivel sonoro**	Peso (kg)			
										WorkPlace		WorkPlace Full Feature	
		bar(e)	psig	l/s	m3/h	cfm	kW	CV	dB(A)	Montado sobre suelo	Montado sobre depósito	Montado sobre suelo	Montado sobre depósito
Versión 60 Hz													
GA 5	100	7.4	107	15.0	54.0	31.7	5.5	7.5	60	257	317	300	360
	125	9.1	132	13.2	47.5	27.9	5.5	7.5	60	257	317	300	360
	150	10.8	157	11.7	42.1	24.7	5.5	7.5	60	257	317	300	360
	175	12.5	181	8.4	30.2	17.7	5.5	7.5	60	257	317	300	360
GA 7	100	7.4	107	21.0	75.6	44.3	7.5	10	61	270	330	315	375
	125	9.1	132	19.6	70.6	46.0	7.5	10	61	270	330	315	375
	150	10.8	157	17.2	61.9	36.3	7.5	10	61	270	330	315	375
	175	12.5	181	14.2	51.1	30.0	7.5	10	61	270	330	315	375
GA 11	100	7.4	107	30.4	109.4	64.1	11	15	62	293	353	343	403
	125	9.1	132	27.0	97.2	57.0	11	15	62	293	353	343	403
	150	10.8	157	24.9	89.6	52.5	11	15	62	293	353	343	403
	175	12.5	181	22.0	79.2	46.4	11	15	62	293	353	343	403

** Rendimiento de las unidades medido de acuerdo con ISO 1217, Ed. 4, Anexo C-2009.*
*** Nivel sonoro medio medido a una distancia de 1 m de acuerdo con ISO 2151; tolerancia 3 dB(A).*

Condiciones de referencia:
- Presión absoluta de entrada 1 bar (14,5 psi).
- Temperatura de aire de entrada 20 °C, 68 °F.

FAD medido a las presiones de trabajo siguientes:
- Variantes de 7,5 bar a 7 bar(e).
- Versiones de 8,5 bar a 8 bar(e).
- Variantes de 10 bar a 9,5 bar(e).
- Variantes de 13 bar a 12,5 bar(e).

GA 5-7-11 Pack
(montado sobre suelo)

GA 5-7-11 Pack
(montado sobre depósito)



Montado sobre suelo



Montado sobre depósito

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

COMPROMETIDOS CON UNA PRODUCTIVIDAD RESPONSABLE

Somos conscientes de la responsabilidad que tenemos con nuestros clientes, el medio ambiente y las personas que nos rodean. Nuestra labor resiste el paso del tiempo. Esto es lo que llamamos Productividad Responsable.

LLOYD'S REGISTER · LRQA
ISO 9001 · ISO 14001
OHSAS 18001

www.atlascopco.com

Atlas Copco

2935 4875 46 © 2015, Atlas Copco Airpower NV, Bélgica .Todos los derechos reservados. Los diseños y especificaciones están sujetos a cambios sin previo aviso u obligación. Lea todas las instrucciones de seguridad del manual antes de usarlo.



Oil-free scroll compressors

SF+ 1-6 (1.5-5.5 kW/2-7.5 hp)

SF+ 8-22 (7.4-22 kW/10-30 hp)

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

Innovating for a sustainable future

At Atlas Copco, we have always looked ahead. Which products and services will make our customers more successful? Your future drives the Atlas Copco team every day. It is the reason why we devote so much time and so many resources to innovation. If there are technologies that will advance your productivity, we will find them. That is what we have been doing for more than 150 years now, setting new standards in compressed air reliability, efficiency, connectivity, and sustainability.

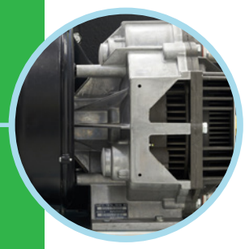
It's that last principle that now comes first. Sustainability is no longer something we should strive for, but something we must achieve. Productivity and growth will have to be built on sustainability. Atlas Copco – our products, our services, and our people – will help you get there, as we always have.

The technology that drives energy efficiency



Class 0 clean air

Atlas Copco's oil-free scroll compression technology eliminates the risks of working with oil lubrication, including disposal.



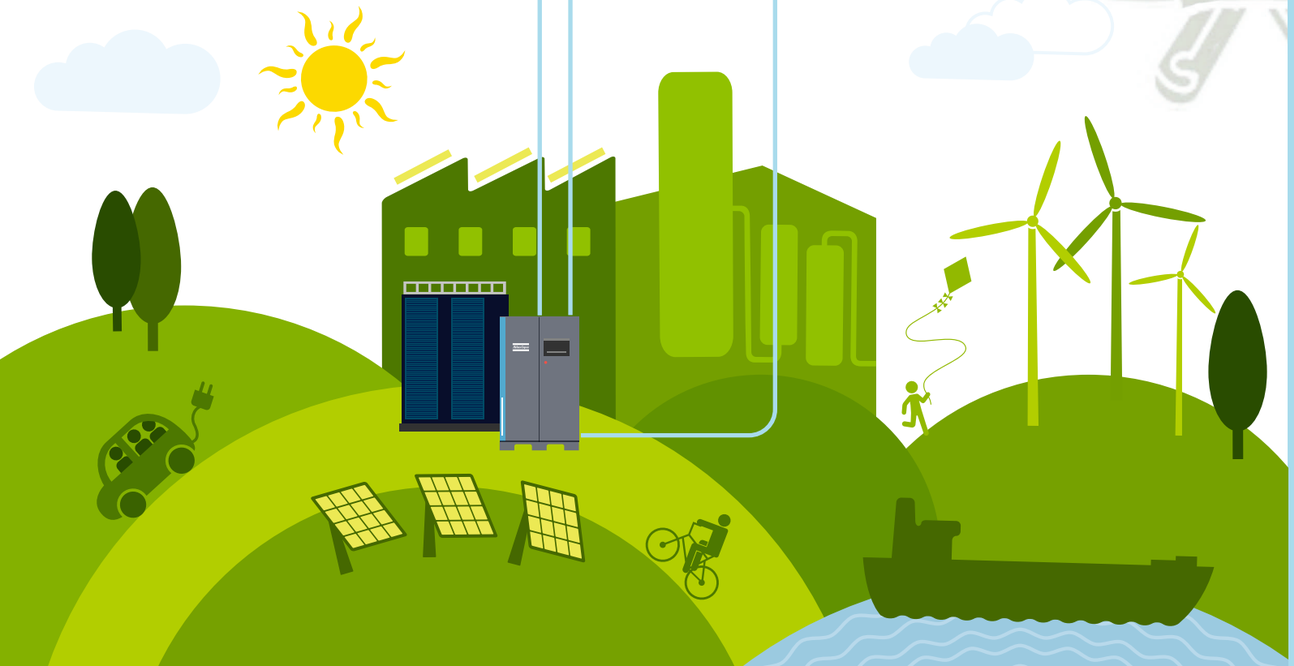
Low-noise scroll compressor

The SF⁺'s scroll element and IE3 motors give you premium efficiency and energy savings.



Elektronikon® controller

The state-of-the-art Elektronikon Touch offers control and remote monitoring features, including VFT technology, that allow you to increase your compressor's efficiency.



Cost-efficient, high-quality air



Clean compressed air is a prerequisite for many manufacturing processes. Atlas Copco oil-free compressors prevent oil from entering your compressed air system. The SF⁺ scroll compressor series combines Atlas Copco's vast experience and knowledge in an industry-leading package. Reliable, quiet and compact, it meets your demands with innovative technologies and supreme energy efficiency.



SF⁺ 1-6
Efficient, silent & compact

- High-quality, oil-free air.
- IE3 Premium Efficiency motors.
- Extremely quiet: sound levels from 52 dB(a).
- **SMART**LINK real-time, remote monitoring and optimization.



SF⁺ 8-22
Modular & flexible

- High-quality, oil-free air.
- IE3 Premium Efficiency motors.
- Modular with 2 to 4 compressor modules.
- Extremely quiet: sound levels of 63-65 dB(a).
- **SMART**LINK real-time, remote monitoring and optimization.

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

SF+ 1-6
Efficient, silent & compact

The SF+ 1-6 is a complete package that includes an element, drive motor and aftercooler in a super-silent acoustic enclosure that can be installed directly onto your work floor. It is also available as a Full Feature unit with integrated refrigerant air dryer. Three receiver mounting options are available: with an extended canopy that includes three integrated 10-liter galvanized air receivers or mounted on an internally-coated 270-liter (72-gallon) or 500-liter (132-gallon) horizontal receiver.

1 Air inlet filter

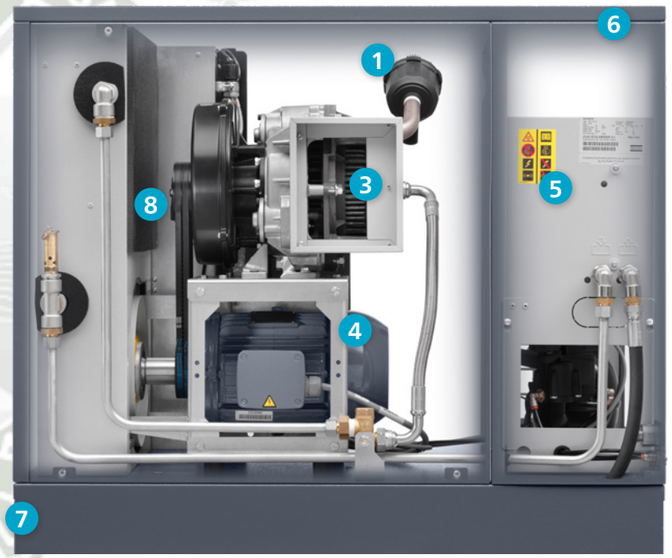
High-efficiency paper cartridge air inlet filter eliminates dust and particles down to 1 µm.



2 Elektronikon Touch controller

- High-tech controller with warning indications, compressor shutdown and maintenance scheduling.
- Easy to use and designed to perform in the toughest conditions.
- Standard **SMART**LINK remote monitoring to maximize air system performance and energy savings.







3 High-efficiency scroll element

Air-cooled scroll compressor element offers proven durability and reliability in operation, in addition to solid efficiency.

4 IP55 Class F/IE3 motor

Totally enclosed air-cooled IP55 Class F motors comply with IE3 Premium Efficiency standards.

5 Built-in dryer

Compact and optimized integrated refrigerant dryer ensures air quality and prevents rust and corrosion in your compressed air network.

6 Silent canopy

A sound-insulated canopy makes noise levels as low as 52 dB(A) possible, allowing you to install the unit closer to the point of use.

7 Integrated receiver

Plug-and-play solution, lower installation costs with 30l, 270l and 500l tank-mounted options.

8 Innovative design

The new compact vertical setup enables easy access for maintenance, improves cooling to allow for lower working temperatures, and provides vibration damping.



9 Cooler & piping

- An oversized cooler improves the performance of the unit.
- The use of stainless steel pipes and the vertically oversized check valve improve reliability and assure the quality of your compressed air.



SF -Skid/Twin

- Suitable for installation at the point of use or for integration into an existing air network: designed with simplicity in mind.
- Self-contained units equipped with a single scroll element, drive motor, aftercooler and integrated starter, all contained in a modern silenced acoustic canopy.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DE SANTA MARÍA

SF+ 8-22
Modular & flexible

SF+ 8-22 multi-scroll units bring the benefits and flexibility of a modular system, utilizing two to four compressor modules integrated into one canopy. The Elektronikon Touch controller continuously monitors the status of each element and starts and stops them to ensure that the output matches the air demand. Moreover, the perfect air quality and user-friendliness of these units guarantee a superior production process.



1
Air inlet filter
High-efficiency paper cartridge air inlet filter eliminates dust and particles down to 1 µm.



2
IP55 Class F IE3 motor
Totally enclosed and air-cooled IP55 Class F motors comply with IE3 Premium Efficiency standards.



3
High-efficiency scroll element
Air-cooled scroll compressor element offers proven durability and reliability in operation, in addition to solid efficiency.



4
Integrated dryer
Compact integrated refrigerant dryer ensures air quality and prevents rust and corrosion in your compressed air network.



5
Silent canopy
Thanks to the low-noise scroll element, optimized super-silent fan and sound-insulated canopy, best-in-class noise levels can be achieved.

6
Elektronikon controller
- High-tech controller with warning indications, compressor shutdown and maintenance scheduling.
- Easy to use and designed to perform in the toughest conditions.
- Standard **SMART**LINK remote monitoring to maximize air system performance and energy savings.

7
Optimized cooler & piping
The air cooler is finetuned for improved performance, while the aluminum and stainless steel pipes improve reliability and assure the quality of compressed air.

8
Smart design
Outstanding user-friendly design with safe operation and easy service.



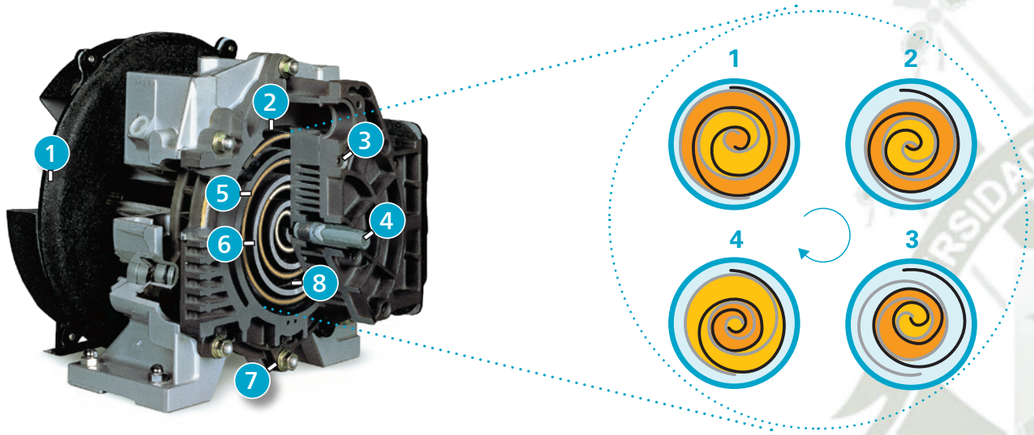
SF+ Duplex
- Duplex set-up with two cubicles, one/two main modules and one/two modules as back-up.
- Elektronikon controller regulates each set of compressor modules via an integrated central control system.
- Enclosed in sound-insulated bodywork.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

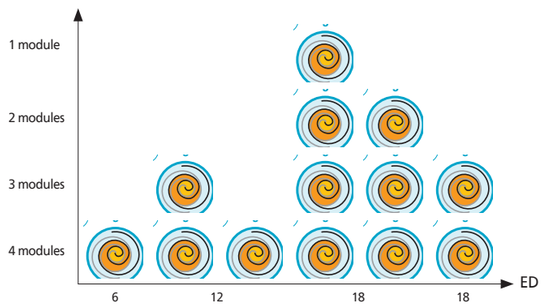
REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Advanced scroll technology

Air compression is achieved by the interaction of a fixed and orbiting scroll. Air at inlet pressure enters the compression chamber at the exterior side of the scroll element. Once air is drawn in, the orbiting scroll seals off the inlet port. As the scroll continues to orbit, the air is progressively compressed into an increasingly smaller 'pocket'. A continuous flow of compressed air leaves the scroll element through a discharge port in the center of the fixed scroll. This process is continuously repeated, resulting in the delivery of pulse-free compressed air.



1. Cooling fan
2. Suction chamber
3. Suction opening
4. Delivery opening
5. Fixed scroll
6. Orbiting scroll
7. Fail-safe temperature sensor for unit protection
8. Compression chamber



Variable flow technology (VFT)

All SF+ 8-22 multi-scroll compressors are equipped with the unique VFT control system. The VFT system, included in the Elektronikon Touch controller, automatically starts and stops the scroll elements to exactly match the demands of your compressed air system. The Elektronikon Touch control algorithm ensures that the system pressure is kept within a very narrow pressure band.

Complete integration, silent operation

Thanks to its low-noise operation, compact footprint and integration of air treatment equipment, the SF+ fits right on your work floor. This point-of-use installation helps minimize the size of your air distribution system, reduces pressure loss and the potential for leakage.



Thanks to its compact footprint, the SF+ takes up very little space.

Low noise

The slow speed of the scroll compression elements ensures that the SF+ is extremely quiet. Sound levels are as low as 52 dB(a), making the SF+ the perfect choice for your sensitive working environment.

Built-in quality air

Untreated compressed air contains moisture and aerosols which increase the risk of corrosion and compressed air system leaks. This can result in a damaged air system and contaminated end products. That's why the Full Feature version of the SF+ comes with a fully integrated refrigerated air dryer.



Refrigerated dryer

- For applications that require ISO 8573-1 Class 4 air quality.
- Pressure dewpoint of 3°C/38°F (100% relative humidity at 20°C/68°F).
- On average 50% energy savings.
- Heat exchanger cross-flow technology with low pressure drop.
- Zero waste of compressed air thanks to no-loss condensate drain.
- Environmentally-friendly characteristics; zero ozone depletion.
- Global warming potential has been lowered significantly by an average of 50% by reducing the amount of refrigerant in the new dryer.

ISO 8573-1

Quality classes	Particle size	Maximum pressure dewpoint		Maximum oil content (droplets, aerosols, and vapor ppm)	
	microns	°C	°F	w/w	mg/m³
0	as specified	as specified		as specified	
1	0.1	-70	-94	0.008	0.01
2	1	-40	-40	0.08	0.1
3	5	-20	-4	0.8	1
4	15	3	38	4	5
5	40	7	45	21	25
6	–	10	50	–	–

* The table values reflect the maximum limits according to the ISO quality air standard (ISO 8573-1:2010).

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE
TESIS UCSM

ISO 8573-1 Class 0
The industry standard

Oil-free air is used in all kinds of industries where air quality is paramount for the end product and production process. These applications include food and beverage, pharmaceutical, chemical and petrochemical, semiconductor and electronics, the medical sector, automotive spray painting, textiles, and many more. In these critical environments, contamination by even the smallest quantities of oil can result in costly production downtime and product spoilage.

First in oil-free air technology

Over the past sixty years, Atlas Copco has pioneered the development of oil-free air technology, resulting in a range of compressors and blowers that provide 100% pure, clean air. Through continuous research and development, Atlas Copco achieved a new milestone, setting the standard for air purity as the first manufacturer to be awarded Class 0 certification.

Can oil-injected compressors with oil removal filters deliver oil-free air?

Often referred to as “technically oil-free air”, this system relies on air cooling devices and several stages of oil removal with multiple components. A failure of any of these components or inadequate maintenance can result in oil contamination. Therefore, with oil-injected compressors there will always be a risk of contamination and the possibility of severe consequences for your business.





Eliminating any risk

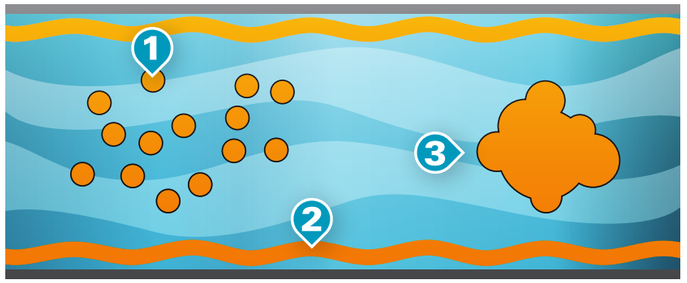
As the industry leader committed to meeting the needs of the most demanding customers, Atlas Copco requested the renowned TÜV institute to type-test its range of oil-free compressors and blowers. Using the most rigorous testing methodologies available, all possible oil forms were measured across a range of temperatures and pressures. The TÜV found no traces of oil at all in the output air stream.

CLASS	Concentration total oil (aerosol, liquid, vapor) mg/m³
0	As specified by the equipment user or supplier and more stringent than class 1
1	< 0.01
2	< 0.1
3	< 1
4	< 5

Current ISO 8573-1 (2010) classes (the five main classes and the associated maximum concentration in total oil content).

The most stringent air quality testing available

Most manufacturers prefer “partial flow” testing, which targets only the center of the air flow. The Atlas Copco SF⁺ range of oil-free scroll compressors was tested using the more stringent “full flow” method. This examines the entire air flow to measure aerosols, vapors, and wall flow. Even with such rigorous testing, no traces of oil were found in the output air stream.



1. Aerosols
   Minute droplets of oil suspended in the air stream
2. Wall flow
   Oil in liquid form, which creeps along the pipe wall
3. Vapors or oil mist
   Vaporized oil in a cloud form



REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

A step ahead in monitoring and controls

An advanced controller

The next-generation Elektronikon operating system offers a wide variety of control and monitoring features that allow you to increase your compressor's efficiency and reliability. To lower energy consumption, the Elektronikon controls the main drive motor and regulates system pressure within a predefined and narrow pressure band.



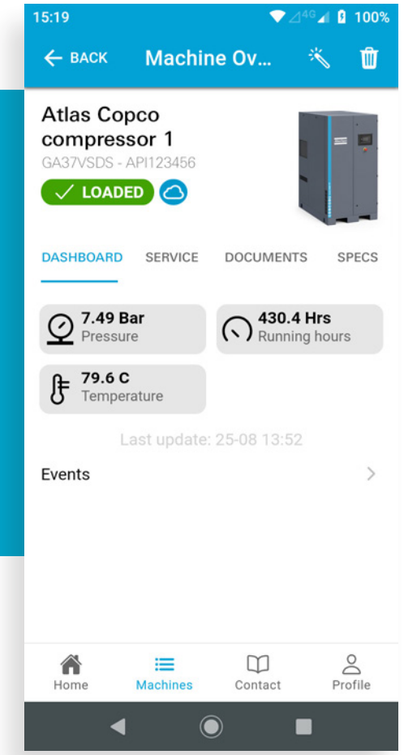
Elektronikon Touch

- Ease of use: 4.3-inch high-definition color display with clear pictograms and service indicator.
- Reliable: user-friendly, multilingual user interface and durable keyboard.
- Flexible: four different week schedules for 10 consecutive weeks.
- Internet-based compressor visualization with a simple Ethernet connection.
- Remote control and connectivity functions.

SMARTLINK
BY ATLAS COPCO

SMARTLINK remote connectivity

- Real-time monitoring of your compressor's operational parameters on your computer or mobile device.
- Performance data and insights identify opportunities for optimization.
- Service timeline.
- Maintenance and service alerts.
- Online resource center with manuals, documentation and technical information.





Multiple compressor control

Manage up to 6 compressors in one air network with the EQ central controller (integrated in your compressor or as a standalone unit):

- **Reduced pressure band:** Create a narrow, predefined pressure band to save energy.
- **Optimal system performance:** Program all compressors to have equal running hours to reduce service intervals.
- **Improve reliability and efficiency:** With actionable performance reports, service warnings, and energy efficiency data.
- **Multiple compressor control:** Manage up to 6 compressors in one air network.

Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

REPOSITORIO DE TESIS UCSM
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

Optimize your system

Some applications may need or may benefit from additional features and more refined control/ air treatment systems. To meet these needs, Atlas Copco has developed optional parts and easily integrated compatible equipment.

SF+ 1-6

- CD adsorption dryer (only for FF TM variants)
- Phase Sequence Relay
- Prefiltration kit
- EQ4i central compressor control
- EQ6i central compressor control
- Integrated 30l air receiver + timer drain
- 270l air receiver
- 500l air receiver
- Timer drain on air receiver (only for tank-mounted variants)
- WSD water separator drain (only for Pack FM variants)

SF+ 8-22

	SF+ 8-11	SF+ 15-22
Extra module upgrade SF+ 8-15	•	-
EQ4i central compressor control	•	•
EQ6i central compressor control	•	•
Test report	•	•
Electronic water drain (Pack units only)	•	•
Main switch	•	•

• Optional
- Not available



AIRnet compressed air piping systems

The right piping system makes all the difference. AIRnet ensures that your compressed air reaches your point of use in optimal conditions:

- Complete system with pipes in different materials, fittings, and point-of-use accessories.
- Smooth air flow and stable pressure.
- High air quality thanks to non-corrosive materials.
- Turnkey, dynamic design with flexible, interchangeable, and reusable fittings.
- Fast installation and no maintenance needed.

Contact us today for more information about AIRnet. Our experts can help you size, plan and install your AIRnet system to ensure it supports your production with maximum energy efficiency and minimal total cost of ownership.

Technical specifications SF+ 1-6

Compressor type	Pressure variant	Max. working pressure Pack		Capacity FAD*			Installed motor power		Noise level**	Weight Pack	
		bar(e)	psig	l/s	m³/min	cfm	kW	hp	dB(A)	kg	lbs
SF 1+	8	8	116	2.9	0.17	6.1	1.5	2	52	120	265
	10	10	145	1.9	0.11	4.0	1.5	2	52	120	265
SF 2+	8	8	116	4.2	0.25	8.9	2.2	3	56	125	276
	10	10	145	3.4	0.20	7.2	2.2	3	56	125	276
SF 4+	8	8	116	6.7	0.40	14.2	3.7	5	58	133	293
	10	10	145	5.9	0.35	12.5	3.7	5	58	133	293
SF 6+	8	8	116	9.8	0.59	20.8	5.5	7.5	59	157	346
	10	10	145	7.6	0.46	16.1	5.5	7.5	59	157	346

*Unit performance measured according to ISO 1217, Annex C, Latest Edition.
**Mean noise level measured at a distance of 1 m according to ISO 2151, tolerance 3 dB(a).
Weights of the pack & floor-mounted units are shown in the chart.

Technical specifications SF+ 8-22

Compressor type	Pressure variant	Max. working pressure Pack		Capacity FAD*			Installed motor power		Noise level**	Weight Pack		Weight Full Feature	
		bar(e)	psig	l/s	m³/hr	cfm	kW	hp	dB(A)	kg	lbs	kg	lbs
SF 8+	8	8	116	13.4	0.80	28.4	8	10	63	387	853	402	886
	10	10	145	11.3	0.68	23.9	8	10	63	387	853	402	886
SF 11+	8	8	116	21.1	1.27	44.7	11	15	63	442	974	457	1007
	10	10	145	15.0	0.90	31.8	11	15	63	442	974	457	1007
SF 15+	8	8	116	27.2	1.63	57.6	15	20	63	583	1285	603	1329
	10	10	145	22.6	1.36	47.8	15	20	63	583	1285	603	1329
SF 17+	8	8	116	31.5	1.89	66.7	17	22	64	645	1422	665	1466
	10	10	145	23.5	1.41	49.7	17	22	64	645	1422	665	1466
SF 22+	8	8	116	41.1	2.47	87.0	22	30	65	745	1642	765	1686
	10	10	145	29.7	1.78	62.9	22	30	65	745	1642	765	1686

*Unit performance measured according to ISO 1217, Annex C, Latest Edition.
**Mean noise level measured at a distance of 1 m according to ISO 2151, tolerance 3 dB(a).
Weights of the pack & floor-mounted units are shown in the chart.

Dimensions SF+ 1-6

	Pack/Full Feature					
	L (mm)	W (mm)	H (mm)	L (in)	W (in)	H (in)
Pack & floor-mounted	760	670	840	29.9	26.3	33.1
Full Feature & floor-mounted	1025	670	840	40.3	26.3	33.1
Pack & 270l receiver	1275	670	1450	50.2	26.3	57.1
Full Feature & 270l receiver	1275	670	1450	50.2	26.3	57.1



Dimensions SF+ 8-22

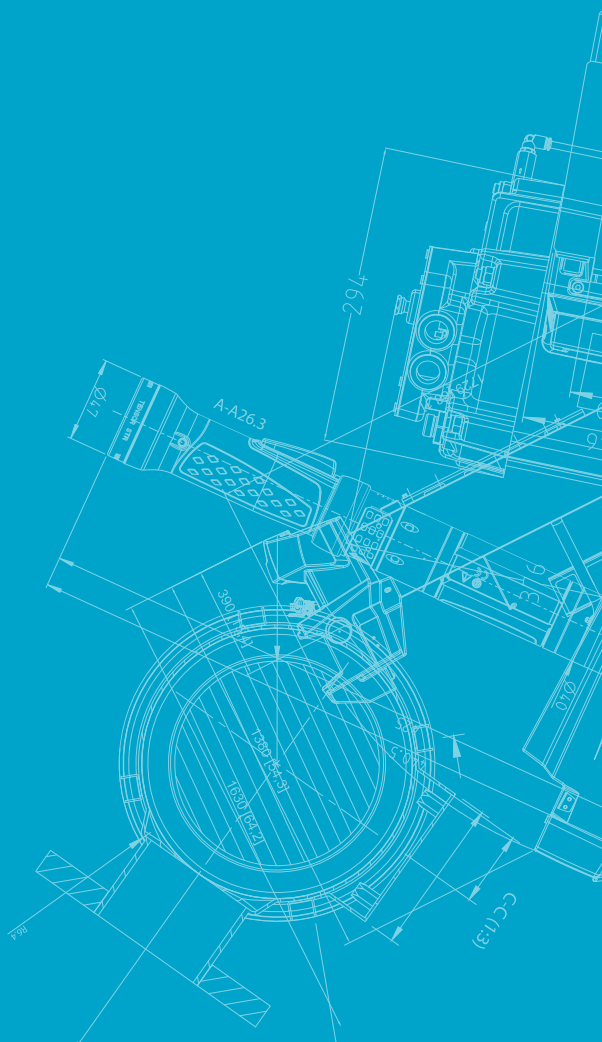
	Pack/Full Feature					
	L (mm)	W (mm)	H (mm)	L (in)	W (in)	H (in)
SF+ 8-11 LC* Pack & Full Feature	1630	750	1230	64.2	29.5	48.4
SF+ 8-11 HC* Pack & Full Feature	1630	750	1840	64.2	29.5	72.4
SF+ 15-22 Pack & Full Feature	1630	750	1840	64.2	29.5	72.4

*LC= low canopy; HC= high canopy.



Publicación autorizada con fines académicos e investigativos
En su investigación no olvide referenciar esta tesis

2935 0844 49 © 2024, Atlas Copco Airpower NV, Belgium. Designs and specifications are subject to change without notice or obligation. Read all safety instructions in the manual before usage.



LLOYD'S REGISTER · LRQA
ISO 9001 • ISO 14001
OHSAS 18001

Atlas Copco

atlascopco.com