

	TIPO DE DOCUMENTO: MEMORIA DESCRIPTIVA	CÓDIGO DEL DOCUMENTO.: IPE-2025-2977-G-MD-003
	PROYECTO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA	HOJA: 1 de 50
	TÍTULO: BASES DE DISEÑO	

ÍNDICE DE REVISIONES

Fecha	Revisión	Observaciones
11-09-2025	A	Para Revisión del Cliente
30-09-2025	B	Para Aprobación del Cliente

 Ing. Gustavo Pimentel N. Ingeniero de Proyecto	 Ing. Mileidy Severiche A. Especialista de Procesos	 Ing. Andres Aguilar L. Gerente de Proyecto
ELABORADO POR	REVISADO POR	APROBADO POR



ESTE DOCUMENTO ES PROPIEDAD DE YPFB TRANSPORTE S.A. Y NO PODRÁ SER REPRODUCIDO O UTILIZADO PARA CUALQUIER FINALIDAD DIFERENTE DE AQUELLA PARA LA QUE HA SIDO SUMINISTRADO.

Archivo: IPE-2025-2977-G-MD-003-RB



	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 2 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

ÍNDICE


1. OBJETIVO	5
2. ANTECEDENTES	5
3. ALCANCE.....	5
4. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS.....	5
4.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA.....	5
4.2. NORMAS DE REFERENCIA.....	6
4.3. ESTÁNDARES DE DISEÑO.....	6
5. NOMENCLATURA.....	10
6. SISTEMA DE UNIDADES	11
7. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	12
7.1. ESTACIÓN COLPA.....	12
7.2. ESTACIÓN SICA SICA	13
8. CONDICIONES DE OPERACIÓN.....	14
9. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL.....	14
10. CRITERIOS DE DISEÑO – PROCESOS	15
10.1. DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE LÍNEAS DE PROCESO.....	15
10.1.1. Velocidad.....	15
10.1.2. Caída de Presión Permisible	16
10.1.3. Velocidad Erosional.....	17
10.1.4. Prevención de Vibración.....	17
10.2. DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE LÍNEAS DE ALIVIO.....	17
10.3. SOFTWARE DE SIMULACIÓN	18
11. CRITERIOS DE DISEÑO – INSTRUMENTACIÓN.....	18
11.1. CANALIZACIONES DE INSTRUMENTACIÓN	19
11.2. CABLEADO.....	19
12. CRITERIOS DE DISEÑO – MECÁNICA	20
13. CRITERIOS DE DISEÑO – ELeCTRICA	21

	TIPO DE DOCUMENTO: MEMORIA DESCRIPTIVA	CÓDIGO DEL DOCUMENTO: IPE-2025-2977-G-MD-003
	PROYECTO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA	HOJA: 3 de 50
	TÍTULO: BASES DE DISEÑO	

13.1.	CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS	21
13.2.	CABLES	21
13.3.	ILUMINACIÓN.....	22
13.4.	CANALIZACIONES	22
13.4.1.	CANALIZACIONES	22
13.4.2.	CÁMARAS ELECTRICAS.....	23
13.5.	PUESTA A TIERRA.....	24
13.6.	SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS	24
14.	CRITERIOS DE DISEÑO – PROTECCIÓN CATÓDICA	25
14.1.	PROTECCIÓN DE TUBERÍAS	25
14.2.	JUNTAS AISLANTES	26
15.	CRITERIOS DE DISEÑO – CIVIL	26
15.1.	DATOS DE DISEÑO	26
15.1.1.	CONDICIONES DE CARGA.....	27
15.1.1.1.	CARGA PERMANENTE (D)	27
15.1.1.2.	CARGA DE FLUIDO (F).....	27
15.1.1.3.	CARGA VIVA (L)	28
15.1.1.4.	CARGA DE VIENTO (W)	29
15.1.1.5.	CARGA SÍSMICA (S).....	33
15.1.1.6.	CARGAS TÉRMICAS (T).....	39
15.1.1.7.	CARGAS DE EMPUJE DE AGUA Y SUELO (H)	39
15.1.2.	COMBINACIONES DE CARGA.....	39
15.2.	ESTABILIDAD DE FUNDACIONES	41
15.3.	FUNDACIONES DE EQUIPOS VIBRATORIOS	42
15.3.1.	METODOLOGÍA EN BASE A LA EXPERIENCIA	43

	TIPO DE DOCUMENTO: MEMORIA DESCRIPTIVA	CÓDIGO DEL DOCUMENTO.: IPE-2025-2977-G-MD-003
	PROYECTO: INGENIERÍA BÁSICA Y DE DETALLE PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE LA 4TA Y 5TA UCG EN LA E°C° COLPA	HOJA: 4 de 50
	TÍTULO: BASES DE DISEÑO	

15.3.2.	FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE	43
15.3.3.	ANÁLISIS DINÁMICO	44
15.4.	VIBRACIONES Y RESONANCIA DE LA ESTRUCTURA	44
15.4.1.	EQUIPOS APOYADOS SOBRE VIGA	45
15.4.2.	EQUIPOS APOYADOS SOBRE ESTRUCTURAS Y/O FUNDACIONES	46
15.5.	ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO	46
15.5.1.	HORMIGÓN	46
15.5.2.	ACERO DE REFUERZO	47
15.5.3.	RECUBRIMIENTO	47
15.6.	ESTRUCTURAS METÁLICAS	48
15.6.1.	DIRECTRICES DE DISEÑO	48
15.7.	ESCALERAS Y PLATAFORMAS	50
15.8.	SOPORTES PARA TUBERÍAS	50
15.8.1.	FORMAS Y TIPOS DE SOPORTES	50

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 5 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

1. OBJETIVO

El objetivo del presente documento es establecer las bases y consideraciones de diseño para la ejecución del proyecto en su etapa de “Ingeniería Básica y de Detalle para la implementación de la 4ta y 5ta Unidad de Compresión de Gas en la Estación de Compresión Colpa”.

2. ANTECEDENTES

Con la finalidad de cumplir con la demanda de gas proyectada para el mercado interno, YPFB Transporte S.A. (YPFB TR), está ejecutando actividades de ampliación y/o adecuaciones en el Sistema Norte, entre ellas la implementación de la 4ta y 5ta Unidad de Compresión de Gas (UCG) en la Estación de Compresión (E°C°) Colpa.

YPFB TR ha identificado como parte de la optimización de sus activos, el traslado de una (1) UCG desde la Estación Sica Sica y una (1) UCG que estaría disponible en Almacén Santa Cruz a retirarse temporalmente a mediados de la gestión 2025 de la Estación Colpa, ambas para su implementación en la estación Colpa.

3. ALCANCE

El presente documento establece los criterios, condiciones operativas, características de diseño, normas y buenas prácticas de ingeniería de las diferentes especialidades (Procesos, Mecánica, Instrumentación, Eléctrica, Civil, etc.) para la implementación de ambas UCG's en la E°C° Colpa.


4. DOCUMENTACIÓN DE REFERENCIA, NORMAS Y ABREVIATURAS

4.1. DOCUMENTOS DE REFERENCIA

A continuación, se detalla la documentación de referencia asociada a este documento:

Tabla 1. Documentos de referencia

Ref. N.º	Código	Título
[Ref. 01.]	FOP-CO24-00008	Términos de referencia
[Ref. 02.]	SC-E30-GE-01-BD-001	Bases de Diseño
[Ref. 03.]	LP-E07-EC/PR 0015-01 de 01	Diagrama de Tuberías e Instrumentación Integrado

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 6 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

4.2. NORMAS DE REFERENCIA

A continuación, se detallan las normas de referencia asociadas a este documento:

[Ref. 04.]	AGA	American Gas Association
[Ref. 05.]	ANSI	American National Standard Institute
[Ref. 06.]	NACE	National Association of Corrosion Engineers
[Ref. 07.]	API	American Petroleum Institute
[Ref. 08.]	ASME	American Society of Mechanical Engineers
[Ref. 09.]	AISC	American Institute of Steel Construction
[Ref. 10.]	ASTM	American Society for Testing and Materials
[Ref. 11.]	AWS	American Welding Society
[Ref. 12.]	ISA	Instruments Society of America
[Ref. 13.]	IEC	International Electric Code
[Ref. 14.]	NEC	National Electric Code
[Ref. 15.]	NEMA	National Electrical Manufacturers Association
[Ref. 16.]	UL	Underwriter's Laboratories Inc.

4.3. ESTÁNDARES DE DISEÑO


A continuación, se detallan los estándares de referencia separados por especialidad:

Sistemas de Cañerías a Presión

[Ref. 17.]	ASME B31.8	Gas Transmission and Distribution Piping Systems
[Ref. 18.]	API RP 14E	Offshore Production Platform Piping Systems Process Piping

Materiales, Válvulas y otros Accesorios

[Ref. 19.]	ASTM A 106	Specification for Seamless Carbon Steel Pipe for High-Temperature Service.
[Ref. 20.]	ASTM A 105	Specification for carbon steel forgings for Piping applications.
[Ref. 21.]	ASME B 16.5	Steel Pipe Flanges and flanged and fittings
[Ref. 22.]	ASME B 16.14	Ferrous pipe plugs, with pipe threads
[Ref. 23.]	ASME B 16.5	Pipe Flanges and Flanged Fittings
[Ref. 24.]	ASME B 16.34	Valves--Flanged, Threaded, and Welding End

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 7 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

[Ref. 25.]	API 6D	Specification for Pipeline Valves (Gate, Ball, and Check Valves)
[Ref. 26.]	API 5L	Specification for Line Pipe
[Ref. 27.]	API RP 526	Flanged Steel Pressure Relief Valves
[Ref. 28.]	MSS-SP-84	Steel valves socket welding and threaded ends
[Ref. 29.]	DIN 30670	Polyethylene Coating for Steel Pipes and Fittings

Recipientes a Presión

[Ref. 30.]	ASME Sec. VII Div.1	Rules for Construction of Pressure Vessels
------------	---------------------	--

Clasificación de Áreas


[Ref. 31.]	IEC 60079-10	Explosive Atmospheres – Part 10-1: Classification of areas - Explosive Gas Atmospheres.
[Ref. 32.]	API 505	Classification of Locations for Electrical Installations at Petrochemical Facilities Classified as Class 1, Zone 0, Zone 1 and Zone 2.

Protección Catódica

[Ref. 33.]	NACE SP0169	Control of External Corrosion on Underground or Submerged Metallic Piping Systems
[Ref. 34.]	NACE SP 0286	Electrical Isolation of Cathodically Protected Pipelines
[Ref. 35.]	ASTM D 1248	High Molecular Weight Polyethylene Cable Insulation, Type 1, Class C, Category 5, Grades E-5 and j-1.
[Ref. 36.]	NACE SP0177	Mitigation of Alternating Current and Lightning Effect on Metallic Structures and Corrosion Control Systems

Instrumentación

[Ref. 37.]	API RP 551	Process Measurement Instrumentation
[Ref. 38.]	API RP 552	Transmission Systems
[Ref. 39.]	API RP 554	Process Instrumentation and Control
[Ref. 40.]	ISA 20	Specifications Forms for Process Measurement and Control Instrument, Primary Elements and Control Valves.
[Ref. 41.]	ANSI/ISA S5.1	Instrumentation Symbols and Identifications
[Ref. 42.]	IEC 60228	Conductors of insulated cables
[Ref. 43.]	ISA TR84.00.07	Guidance on the Evaluation of Fire, Combustible Gas and Toxic Gas System Effectiveness

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 8 de 50 REV: B

Electricidad


[Ref. 44.]	NB 777	Diseño y construcción de instalaciones eléctricas interiores en baja tensión.
[Ref. 45.]	API 540	Electrical Installations in Petroleum Processing Plants
[Ref. 46.]	NFPA 70 (NEC)	National Electrical Code.
[Ref. 47.]	NFPA 111	Stored Electrical Energy Emergency and Standby Power System
[Ref. 48.]	NFPA 780	Lightning Protection Code
[Ref. 49.]	NEMA	Codes for Enclosures
[Ref. 50.]	IEEE STD 142	Recommended Practice for Grounding of Industrial a Commercial Power Systems
[Ref. 51.]	IEC 62305-1	Protection against lightning – Part 1
[Ref. 52.]	IEC 62305-2	Protection against lightning – Part 2
[Ref. 53.]	IEC 62305-3	Protection against lightning – Part 3
[Ref. 54.]	NFPA 780	Standard for the Installation of Lightning Protection Systems
[Ref. 55.]	EN 12464-1	Lighting of work places - Part 1 Indoor work places,
[Ref. 56.]	EN 12464-2	Lighting of work places - Part 2 Outdoor work places.
[Ref. 57.]	IEEE STD 80	IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding
[Ref. 58.]	IEEE STD 81	IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System
[Ref. 59.]	ASTM G57-95	Standard Test Method for Field Measurement of Soil Resistivity Using the Wenner Four-Electrode Method
[Ref. 60.]	IEC 60364-5-52	Low-Voltage Electrical Instalations - Wiring Systems

Sistemas de Alivio y Quema

[Ref. 61.]	API RP 520	Sizing, Selection, and Installation of Pressure-Relieving Devices in Refineries
[Ref. 62.]	API 521	Pressure-relieving and Depressuring Systems
[Ref. 63.]	API 537	Flare Details for General Refinery and Petrochemical Service

Equipos Dinámicos

[Ref. 64.]	HI 1.1-1.2	Rotodynamic (Centrifugal) Pumps
[Ref. 65.]	API 610	Centrifugal Pumps
[Ref. 66.]	API 618	Reciprocating Compressors

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA:
		9 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV:
		B

[Ref. 67.] ISO 13631 Petroleum and Natural Gas Industries – Packaged Reciprocating Gas Compressors

Estudio de Suelos

[Ref. 68.] ASTM 420 Recommended practice for investigation and sampling soil and rock for engineering purposes

[Ref. 69.] ASTM 1452 Practice for soil investigation and sampling by Auger Borings

Acero Estructural y Otros

[Ref. 70.] ASTM A36 Carbón Structural Steel

[Ref. 71.] - Norma Boliviana de Diseño Sísmico 2023

[Ref. 72.] APNB 1225003-1 Ilnorca Anteproyecto de Norma Boliviana

Concreto

[Ref. 73.] ACI-214 Recommended practice for Evaluation of strength test results for concrete

[Ref. 74.] ACI – 318 Building Code Requirements for Structural Concrete

[Ref. 75.] ACI-211-1-77 Recommended practice for concrete mixture

[Ref. 76.] ACI-301 Specifications for structural concrete for buildings

[Ref. 77.] ASTM C-33 Specification for concrete aggregates

[Ref. 78.] ASTM C-94 Specification for ready-mixed concrete

Regulaciones Vigentes en el Estado Plurinacional de Bolivia


[Ref. 79.] Ley N.º 3058 Hidrocarburos

[Ref. 80.] Ley N.º 1333 Medio Ambiente

[Ref. 81.] D.S. N.º 29018 Reglamento de Transporte de Hidrocarburos por Ductos

[Ref. 82.] D.S. N.º 24721 Reglamento para el Diseño, Construcción, Operación y Abandono de Ductos en Bolivia

[Ref. 83.] Ley N.º 16998 Higiene, Seguridad Ocupacional y Bienestar

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 10 de 50 REV: B

5. NOMENCLATURA

Tabla 2. Nomenclatura Utilizada

Sigla	Descripción
YPFB TR	YPFB Transporte S.A.
F&G	Fire and Gas Systems (Sistemas de Detección de Fuego y Gas)
MMpcd	Millones de pies cúbicos por día
SCI	Sistema Contra Incendios
HMI	Interfaz Hombre Máquina
HAZOP	Análisis Funcional de Operatividad (Hazard and Operability Study)
E°C°	Estación de Compresión
SGI	Sistema de Gestión Integrado
UCG	Unidad de Compresión de Gas
NPSH	Altura neta positiva de succión (Net Positive Suction Head)
Pd	Presión de diseño
Ppm	Partes por millón
PSV	Válvula de seguridad de presión
CCM	Centro de control de motores
Msnm	Metros sobre el nivel del mar
END	Ensayo No Destructivo
H°A°	Hormigón Armado
GCC	Gasoducto Carrasco – Cochabamba
GYC	Gasoducto Yapacani – Colpa
GCW	Gasoducto Colpa - Warnes
GSCY	Gasoducto Santa Cruz – Warnes
DGCM	Derivada Gasoducto Colpa - Warnes
TP	Punto de conexión de tuberías o servicios (Tie Point)
UPS	Sistema de alimentación ininterrumpida (Uninterruptible Power Supply)
ATEX	Directiva para atmosferas explosivas (Atmospheres Explosibles)
SPAT	Sistema de Puesta a Tierra
SSGG	Servicios Generales

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 11 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

6. SISTEMA DE UNIDADES

El sistema de unidades a ser utilizado en el proyecto serán las unidades inglesas y unidades del sistema internacional o métrico para algunos casos como PFD, P&ID's, memorias de cálculo y especificaciones de equipos.

Tabla 3. Unidades de diseño.

Variable	Unidad (inglesa internacional métrico)	Sigla
Área	Pies cuadrados metro cuadrado	ft ² m ²
Velocidad	Pies por segundo metro por segundo	ft/s m/s
Capacidad	Barriles Galones metro cúbico	Bbls gal m ³
Temperatura	Grados Fahrenheit Celsius	°F °C
Presión relativa	Libras pulgadas cuadradas manométricas Bar manométrico	psig Bar(g).
Presión absoluta	Libras pulgadas cuadradas absolutas Bar	Psia Bar
Presión diferencial	Libras pulgadas cuadradas diferenciales	psi
Masa	Libras kilogramos	lb kg
Densidad	Libras por pie cubico Kilogramos por metro cúbico	lb/ft ³ kg/m ³
Viscosidad dinámica	Centipoise	cP
Diámetro	Pulgadas	in
Longitudes (cortas)	- milímetros	mm
Longitudes (largas)	Pies metros	ft m
Volumen	Barriles Litro metro cúbico	Bbls L m ³
Potencia	Caballos de fuerza KiloWatt	Hp kW
Tiempo	Segundos Minutos Horas	s, min, h
Energía/Entalpía	Unidad Térmica Británica	BTU
Caudal de gas	Millones de pies cúbicos estándar por día	MMSCFD
Caudal de líquido	Barriles por hora galones por minuto metro cúbico por hora	Bbls/h gpm m ³ /h
Flujo de calor	Unidades Térmica Británica por hora	BTU/h
Flujo másico	Libras por hora	lb/h
Cantidad de sustancia	Libras mol	lbmol
Sonido	- Decibeles	dB(A)
Frecuencia	Hertz	Hz
Intensidad de Corriente	- Amperes	A
Fuerza Electromotriz	- Voltio	V
Resistividad	- Ohm	Ω
Iluminación	- Lux	Lx
Rotación	Revoluciones por minuto	rpm

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 12 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

7. LOCALIZACIÓN DEL PROYECTO

7.1. ESTACIÓN COLPA

La estación de compresión Colpa, está ubicada en el municipio de Colpa Bélgica, provincia Sara del departamento de Santa Cruz, con las siguientes coordenadas UTM: 471208 E y 8062399 S.


Figura 1. Ubicación Geográfica - E°C° Colpa



Tabla 4. Condiciones del Sitio

Temperatura ambiente mínima ⁽¹⁾ :	15 °C
Temperatura ambiente máxima ⁽¹⁾ :	48 °C
Elevación aproximada:	340 msnm
Humedad relativa máxima:	96%
Humedad relativa promedio:	45%
Humedad relativa mínima:	28%
Precipitación pluvial promedio:	167 mm
Velocidad media del viento:	14.5 km/h
Vientos predominantes:	N-O, S-E
Tipo de terreno	Arcilloso
Notas: 1) Datos históricos registrados de los últimos años	

Fuente: SENAMHI

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 13 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

7.2. ESTACIÓN SICA SICA

La Estación Sica Sica se encuentra en el departamento de La Paz, provincia Aroma, municipio de Sica Sica, a una altura de aprox. 3918 msnm, en las siguientes coordenadas UTM: 627160E y 8087719 S.

Figura 2. Ubicación Geográfica – Estación Sica Sica



Tabla 5. Condiciones del Sitio

Temperatura ambiente mínima ⁽¹⁾ :	-11 °C
Temperatura ambiente máxima ⁽¹⁾ :	23 °C
Elevación aproximada:	3918 msnm
Humedad Relativa Máxima:	85%
Humedad Relativa Mínima:	32%
Precipitación pluvial promedio:	50 mm
Velocidad media del viento:	15 km/h
Velocidad máxima del viento:	31,5 km/h
Vientos predominantes:	Invierno / Verano: SE a SO
Notas: 1) Datos históricos registrados de los últimos años	

Fuente: SENAMHI

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 14 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

8. CONDICIONES DE OPERACIÓN

En la siguiente tabla se presentan los rangos de operación de la E°C° Colpa:

Tabla 6. Rango de Operación – E°C° Colpa

Variable	Unidad	De	A
Presión de Succión:	psig	650	820
Temperatura de Succión:	°F	40	90
Presión de Descarga:	psig	1100	1400
Temperatura de Descarga de Aeroenfriador	°F	-	120
Rango de Volumen:	MMSCFD	-	120

Fuente: Bases de Diseño, Ref. 2

A continuación, se presentan los parámetros técnicos de las UCG existentes y a implementarse:

Tabla 7. Características técnicas UCG-01/02/03/04/05

Variables	Unidad	Existentes			A Implementarse	
		UCG-01	UCG-02	UCG-03	UCG-04	UCG-05
Presión de Succión:	psig	770	770	770	770	770
Temp. de succión:	°F	90	90	90	90	90
Presión de descarga:	psig	1400	1400	1400	1400	1400
Temp. de descarga	°F	120	120	120	120	120
Flujo (nominal):	MMSCFD	33,9	11,4	33,9	11,4	33,4

Fuente: Bases de Diseño y P&ID Estación Sica Sica, Ref. 2 y 3.

9. COMPOSICIÓN DEL GAS NATURAL

La composición referencial del gas a la entrada de la E°C° Colpa es la siguiente:

Tabla 8. Composición del Gas Natural

Compuesto	%
N2	1,45
CO2	0,018
CH4	87,44
C2H6	8,012

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 15 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Compuesto	%
C3H8	2,88
iC4H10	0,062
nC4H10	0,097
iC5H12	0,014
nC5H12	0,0098
C6H14+	0,0073
Total	100
Gravedad Especifica	0,659
Poder Calorífico (BTU/PC)	1124,7

Fuente: Bases de Diseño, Ref. 2

10. CRITERIOS DE DISEÑO – PROCESOS

10.1. DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE LÍNEAS DE PROCESO

Las variables críticas de flujo son aquellas que nos permiten identificar, mediante parámetros máximos recomendados permisibles, si las condiciones de operación o las características de las tuberías evaluadas son óptimas o no. Las variables críticas consideradas en este proyecto son las siguientes:

10.1.1. Velocidad

Con la finalidad de prevenir o minimizar problemas de vibración /ruido en las cañerías se recomienda que la velocidad máxima no sobrepase los siguientes valores:

Tabla 9. Composición del Gas Natural

Fluido	Tipo de Servicio	Velocidad
Gas	Recomendación General	< 60 ft/s
	Cabezales	< 30 ft/s
Líquido	Recomendación General	< 15 ft/s

Fuente: API RP 14E

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 16 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Para las líneas en la succión de los compresores de gas tipo reciprocantes, se recomienda que la velocidad del gas no supere lo calculado mediante la siguiente formula con el objetivo de disminuir las pulsaciones acústicas y vibraciones mecánicas:

$$V_{Succ.} = \frac{33.333}{\left(\frac{28.8}{MW}\right)^{0.5}}$$

Para las líneas a la descargar de los compresores de gas tipo reciprocantes, se recomienda que la velocidad del gas no supere lo calculado mediante la siguiente formula con el objetivo de disminuir las pulsaciones acústicas y vibraciones mecánicas:

$$V_{Desc.} = \frac{50}{\left(\frac{28.8}{MW}\right)^{0.5}}$$

Donde:

$V_{Succ/Desc.}$: Velocidad Erosional; [ft/s]

MW: Peso Molecular del Gas.

10.1.2. Caída de Presión Permisible

Se tomará en cuenta la caída de presión máxima en tuberías como practica recomendada:

Tabla 10. Composición del Gas Natural

Tipo de Servicio	Caída Máxima de Presión
Recomendación general	4 psi/100 ft


Para las líneas a la succión de los compresores de gas tipo reciprocantes, se recomienda que la caída de presión no supere lo calculado mediante la siguiente formula:

$$\Delta P = 0.043 * P_{Succ.}^{0.5}$$

Donde:

ΔP : Caída de presión; [psi/100ft]

$P_{Succ.}$: Presión en la Succión; [psig]

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 17 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

10.1.3.Velocidad Erosional

La velocidad de flujo a la cual puede pronosticarse erosión en la línea puede determinarse mediante una ecuación empírica propuesta por Beggs de acuerdo a la API RP 14E. Para el cual deberá cumplirse la siguiente relación.

$$V_{fluido} < V_e$$

Si la relación presentada se cumple entonces no existirá corrosión por erosión, caso contrario se predice que existirían problemas operativos en el proceso. La velocidad erosional, de acuerdo a la API RP 14E, se define como:

$$V_e = \frac{C}{\sqrt{\rho_m}}$$

Donde:

V_e : Velocidad de Erosión; [ft/s]

C: Contante Empírica; [C=100]

ρ_m : Densidad media del Gas; [lb/ft³]

10.1.4.Prevencción de Vibración

La turbulencia puede inducir a vibraciones que pueden llevar a la ruptura de la tubería. Con la finalidad de evitar que ello ocurra, la presión dinámica ($\rho \times v^2$) del fluido debe mantenerse dentro de ciertos parámetros permisibles los cuales dependen del diámetro, espesor y dureza de la línea.

A continuación, se muestra el valor típico para las industrias de Oil & Gas:

$$\rho \cdot v^2 < 10000 \text{ [lb/ft-s}^2\text{]}$$

10.2. DIMENSIONAMIENTO Y VERIFICACIÓN DE LÍNEAS DE ALIVIO

Todos los cálculos hidráulicos de las líneas de alivio como de los colectores y subcolectores de antorcha fueron realizados de acuerdo al estándar API 520.

A continuación, se muestran los criterios que validarán los cálculos a realizar en el proyecto:


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 18 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Tabla 11. Criterios de Diseño Sistema de Venteo

Líneas de Venteo			
Variable	$\text{Rho} * V^2 \text{ (lb/ft}^2\text{s}^2\text{)}$	Nº de Mach	% ΔP
Sub Cabezal de Alivios	<100000	<0.75	-
Cabezal Principal de Alivios	<100000	<0.4	-
Línea de Entrada a BDV	-	<0.4	-

10.3. SOFTWARE DE SIMULACIÓN

El estudio y verificación Hidráulica del proyecto se realizará utilizando el software Aspen Hysys V.12, haciendo uso de las herramientas pipe segment, la cual permite representar el comportamiento del flujo en las tuberías de proceso.

En la siguiente tabla se resumen las correlaciones que serán empleadas para simular el sistema de flujo, donde la fase gaseosa es predominante:

Tabla 12. Correlaciones Numéricas


Correlaciones Numéricas	
Predicción de Régimen de Flujo	Beggs and Brill
Caída de Presión por Fricción	Beggs and Brill
Hold Up de Líquidos	Beggs and Brill

El paquete de fluido a utilizarse será de Peng Robinson.

11. CRITERIOS DE DISEÑO – INSTRUMENTACIÓN

Todas las señales de proceso de las Unidades de Compresión de Gas (UCG-04 y UCG-05) se canalizarán hacia el Sistema de Control de cada unidad, y de éstos hacia la Sala de Control, mediante comunicación Ethernet con el Sistema de Seguridad y Proceso ESD/SCP existente de la Estación de Compresión Colpa.

Las señales de las Válvulas SDV/ESDV, Comandos de parada de emergencia de los compresores/falla/arranque entre otras y de los detectores de fuego/ gas serán cableadas directamente al Sistema de Seguridad y Proceso ESD/SCP al RACK ESD dedicado a las señales de seguridad. Las señales de seguridad se cablean en forma punto a punto hacia el ESD/SCP, utilizando cámaras de paso únicamente cuando es necesario.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 19 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Los instrumentos y señales de proceso serán cableadas a cajas de conexión intermedias y luego al RACK SCP (Transmisores, válvulas de control ect).

En las pantallas de monitoreo HMI de Sala de Control se deberán integrar y generar las nuevas pantallas de señales de las unidades de compresión, áreas de proceso.

También se implementarán nuevas cámaras CCTV (Comunicación Ethernet) en el área de los nuevos compresores y los periféricos, verificando que el área del alcance de cobertura sea el total de las nuevas modificaciones. Las cámaras serán de la misma línea de las instaladas marcas: Hikvision

11.1. CANALIZACIONES DE INSTRUMENTACIÓN

La canalización de instrumentación se realizará con conduits metálicos de acero galvanizado inmersión en caliente interior y exteriormente. Deberá ser conduit sin costura ANSI C80.1 y UL-6.


Dimensionamiento y diseño del tendido de conduits, cables aéreos y subterráneos e instalación de cámaras o cajas de paso, de acuerdo con el código NFPA 70 (NEC).

La instalación de los instrumentos y cajas de conexión que se encuentren en área clasificada se realizara con accesorios a prueba de explosión (Explosion Proof).

11.2. CABLEADO

Los cables para instalar se diseñaron de acuerdo con la norma IEC 60228.

- Para señales analógicas se utilizará cable de instrumentación de un par con blindaje general; en el caso de multipares, se empleará blindaje individual y general.
- Para señales discretas, se utilizará cable de un par con blindaje general; en multipares, blindaje general.
- Todos los instrumentos deberán contar con conexión a tierra.
- El cableado de comunicaciones Ethernet se realizará con cable categoría CAT-5E, recomendado para transmisión de datos Ethernet.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 20 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

12. CRITERIOS DE DISEÑO – MECÁNICA

El diseño Mecánico/Piping del proyecto “Implementación De La 4ta Y 5ta UCG En La E°C° Colpa”, comprende la elaboración de planos y documentos, los cuales incluirán las interconexiones con equipos/líneas existentes identificados en la visita de campo, así como los ruteos de tuberías de las nuevas líneas y la ubicación de los puntos de TIE IN.

- **Criterios de Diseño**


- La especificación de materiales se hará de acuerdo al documento “Especificación Clase de Tuberías, Válvulas y Accesorios (Piping Class)”.
- La ubicación de los nuevos equipos dentro de la Estación Colpa se hará de acuerdo al área designada por YPFB Transporte S.A. durante el Relevamiento de Campo.
- Se identificarán todas las interferencias con equipos mecánicos existentes, así como estructuras civiles, eléctricas e instrumentación que fueran afectados por el nuevo diseño y disposición.

D. Se verificará y adecuará las especificaciones técnicas de las tuberías y válvulas del proyecto, y se establecerán los requisitos mínimos que deberán cumplir todos los materiales utilizados, basándose en los códigos **ASME B31.8**

- La protección superficial de los elementos mecánicos se realizará aplicando pintura conforme al estándar YPFB TRANSPORTE S.A. ITO-010, con los grados de preparación definidos según SSPC y las recomendaciones del fabricante. La pintura empleada tendrá una capa base anticorrosiva epoxi con fosfato de zinc y una capa final de esmalte poliuretánico acrílico de alta resistencia para exteriores, con sólidos superiores al 60% y un espesor conforme a la ficha técnica del producto. Según las especificaciones del proyecto, los colores utilizados coincidirán con las instalaciones existentes, y el RAL para cada tipo de servicio (Drenaje, alivio, instrumentos, entre otros) será especificado por YPFB TR.

Se realizará un control de calidad para la pintura de las tuberías aéreas y enterradas (perfil de anclaje, medición de espesor en película húmeda y seca, prueba de adherencia, etc.).

- El análisis de tensiones en las tuberías se llevará a cabo utilizando el software CAESAR II para el análisis de esfuerzos y flexibilidad, de acuerdo con los criterios establecidos en los códigos **ASME B31.8**

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 21 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

- G. En los planos mecánicos de vista en planta, elevación y detalle se mostrará el desarrollo del sistema de tuberías, e identificarán las ubicaciones de las interconexiones (Tie-ins) correspondientes.
- H. Para la creación de maquetas 3D, planos isométricos, vistas y elevaciones dentro del alcance del proyecto, se utilizarán los softwares AutoCad, CADWorx Plant y Navisworks.
- I. Para Líneas enterradas (a excepción de agua y aire) deberán ser mayores o iguales a 2".
- J. Para sistemas de 1" (caso by pass de carga Succión UCG), deberán ser de 2", con reducción en la parte de válvulas, así reducir riesgo de problemas por vibración.
- K. Todas las Juntas Espiraladas clase 300 y mayores (600/900) deberán ser con anillo interno y externo. Clase 150 solo anillo externo.

13. CRITERIOS DE DISEÑO – ELECTRICA

Los criterios con los que se diseñará las instalaciones eléctricas, de manera general seguirá con la misma filosofía de las instalaciones existentes, justificado y respaldado por las normativas que aplican a las instalaciones de YPFB Transporte S.A. Se seguirá principalmente lo indicado en las Normas NB 777 Diseño y construcción de instalaciones eléctricas interiores en baja tensión. y la NFPA 70 National Electrical Code (NEC).

13.1. CLASIFICACIÓN DE ÁREAS PELIGROSAS

Los planos de clasificación de áreas peligrosas serán elaborados siguiendo lo indicado en la Norma API RP 500 (Recommended Practice for Classification of Locations for Electrical Installations at Petroleum Facilities Classified as Class I, Division 1 and Division 2), acorde a como se tiene actualmente en las instalaciones existentes.

Los equipos a ser instalados en áreas clasificadas, serán especificados de manera que cumplan con las restricciones que indiquen dichos planos.

De acuerdo a lo mencionado, las instalaciones en su construcción deberán seguir principalmente lo indicado en la NFPA-70 Artículo 500.

13.2. CABLES

Los cables se dimensionarán de acuerdo a lo indicado en la Norma IEC 60364-5-52 Electrical installations of buildings – Selection and erection of electrical equipment - Wiring Systems.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 22 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Los cables de baja tensión serán especificados de cobre electrolítico recocido en formación clase 5 con aislación XLPE (polietileno reticulado), temperatura máxima de servicio 90°C, de sobrecarga 130°C y de cortocircuito 250°C. Tensión nominal 600/1000VAC, Norma constructiva IEC 60502-1, Norma de fuego IEC 60332-3-24 No propagación al incendio y especificados en mm².

13.3. ILUMINACIÓN

Para el sistema de iluminación de las nuevas instalaciones se utilizarán luminarias con tecnología LED acorde con las luminarias instaladas actualmente. Se escogerán modelos adecuados al lugar de instalación a fin de tener una buena cobertura.

Los niveles de iluminación mínimos requeridos, serán de acuerdo con lo indicado en la Tabla 4 de la Norma API 540 Electrical Installations In Petroleum Processing Plants.

Los circuitos de iluminación general se alimentarán desde el tablero de iluminación correspondiente o bien se extenderán los circuitos existentes actualmente.

En caso que la ingeniera lo requiera, las luminarias se instalarán en postes o suspendidas de la siguiente forma:

- Reflectores en poste de 10 metros (Tipo T). Los reflectores en caso de ubicarse en áreas clasificadas deberán ser A.P.E.
- En Interiores tinglados-galpones elevados (tipo High-bay) suspendidas en el techo y deberán ser A.P.E.

13.4. CANALIZACIONES

Para el ruteo de cables se seguirá los siguientes lineamientos:

13.4.1. CANALIZACIONES

De manera general las canalizaciones enterradas seguirán lo indicado en la Norma NPFA 70, es decir se usará un sistema de conduits enterrados, los Conduit a usar serán de acero galvanizado ANSI C80.1.

Todos los conduits deberán ser etiquetados para su fácil identificación usando placas de acero inoxidable (SS-316) de 1mm de espesor con letras en relieve (inverso), estas placas deberán ser amarradas al conduit con alambre de acero inoxidable.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 23 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

En las canalizaciones enterradas, por encima de los Conduit se deberá usar una capa de hormigón pobre de color rojo de 5cm de espesor y por encima de la misma se usará una banda plástica de advertencia.

Donde hubiere un cruce de camino los conduits deberán ser embebidos en hormigón de manera que tenga un refuerzo a fin de evitar posibles daños.

En el ruteado de cables de forma área, podrá ser de dos maneras; mediante Conduit o mediante bandejas.

En caso de ser mediante conduit metálico, el mismo será de acero galvanizado (ANSI C80.1), con un diámetro acorde al diámetro exterior de los cables, el ingreso a los tableros será mediante sellos acorde a la medida del cable y cuidando que sean aptos para el área clasificada en la que se encuentren.

Así también todos los conduit aéreos deberán ser pintados de color azul zafiro (RAL 5003), después de que los conduits sean pintados, para una fácil identificación deberán ser etiquetados en sus extremos, debiendo usar pintura de color blanco.

En caso de ser mediante bandejas, las mismas serán tipo escalera y cumplirán la Norma NEMA VE1 Metal cable tray systems, dichas bandejas podrán ir adosadas a las estructuras metálicas o con soportes propios de forma individual.

13.4.2.CÁMARAS ELECTRICAS


En caso de ser requerido, para permitir el halado de cables se construirán cámaras eléctricas, mismas que deberán ser suficientemente espaciosas para el ingreso de las personas.

Las cámaras serán con tapas metálicas **con terminación en punta de diamante** y llevarán en la parte baja de la misma una parrilla metálica para que el cable no toque fondo en el piso.

Los conduit serán etiquetados en las paredes internas de las cámaras, con pintura sintética al aceite **de acuerdo a ITO.010**, el etiquetado deberá ubicarse en la parte superior del conduit.

La ubicación de las cámaras y conduits que vincularán los diferentes tramos de las canalizaciones enterradas se realizarán teniendo en cuenta las condiciones para el tendido de los cables y las facilidades para el mantenimiento.

Donde se pueda aprovechar canalizaciones existentes, las nuevas instalaciones se adaptarán a las mismas.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 24 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

13.5. PUESTA A TIERRA

El sistema de puesta a tierra será diseñado teniendo en consideración la seguridad y protección del personal y de las instalaciones de la planta contra fallas del sistema eléctrico.

El diseño del sistema de puesta a tierra se realizará siguiendo lo establecido en el Estándar 80 de la IEEE – “Guide for Safety in AC Substation Grounding” como también lo mencionado en el instructivo; ITM.077 Instrucción de trabajo “Puesta a Tierra”.

Se considera los sistemas de puesta a tierra:

- Malla de puesta a tierra general
- Puesta a tierra de pararrayos

De forma general las mallas estarán conformadas por cable de cobre desnudo de sección mínima 50mm². Tal como se encuentra construido actualmente. Los diferentes puntos de la malla serán vinculados entre sí por medio de soldaduras cuproaluminotérmicas o por uniones a compresión irreversibles.

La resistencia de puesta a tierra resultante del diseño no deberá ser mayor a 5 Ohm y se deberán cumplir que los valores de tensiones de paso y contacto calculados se encuentren por debajo de los valores límites tolerables.

La malla de puesta a tierra será tendida a una profundidad de 600mm como mínimo y será complementada con la instalación de jabalinas con pozo de inspección en algunos puntos de la misma.


Una vez finalizado el tendido de la malla, se deberán realizar mediciones de la resistencia de puesta a tierra obtenida. De ser necesario, se realizarán mejoras del sistema de puesta a tierra con la incorporación de jabalinas y/o tratamiento del terreno para lograr una reducción de la resistividad del mismo.

La malla de puesta a tierra será conectada a la malla de puesta a tierra existente y será considerada como una sola unidad.

Las armaduras de las fundaciones deberán ser conectadas a la malla de puesta a tierra, de manera que en los planos de dichas fundaciones (área civil) se colocará las notas correspondientes para que las mismas sean consideradas durante la construcción.

13.6. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS

La estación ya cuenta con protección atmosférica, pero durante el desarrollo del proyecto SE VERIFICARÁ que el mismo cubra las nuevas instalaciones, para esto, se realizará un estudio

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 25 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

sobre la necesidad de implementación de un sistema de protección contra descargas atmosféricas, una vez evaluada la necesidad de este sistema se implementará la instalación de los pararrayos.

La evaluación sobre la necesidad de contar con protección atmosférica estará basada en las Normas NFC-17-102 Protection against lightning y la IEC 62305 Protection Against Lightning.

El método de determinación de cobertura será de acuerdo al nivel de protección, mediante tablas de fabricantes para los pararrayos tipo Iónicos.

14. CRITERIOS DE DISEÑO – PROTECCIÓN CATÓDICA

Para realizar los diseños se necesitan los siguientes datos:


- Datos de Resistividad del Suelo para el calculo de Resistencia del Sistema de Protección Catódica.
- Dimensiones de las tuberías de proceso: Diámetro externo, longitud y tipo de revestimiento.

De acuerdo con lo descrito en el Standard NACE SP0169, se adoptan los siguientes criterios de Protección Catódica:

- Un mínimo de 100 milivoltios de polarización catódica entre la superficie de la estructura y un electrodo de referencia estable en contacto con el electrolito.
- Un potencial de estructura a electrolito de -850 mV o más negativo, medido con respecto a un electrodo de referencia saturado de cobre / sulfato de cobre (CSE) saturado. Este potencial puede ser una medición directa del potencial polarizado o un potencial con corriente aplicada. La interpretación de una medición con corriente aplicada requiere considerar la importancia de las caídas de tensión en la tierra y pasos metálicos.

14.1. PROTECCIÓN DE TUBERÍAS

Actualmente, la Estación Colpa cuenta con tres sistemas de Protección Catódica mediante ánodos de sacrificio de magnesio de alto potencial, que aseguran la integridad de las tuberías enterradas frente a la corrosión. Para el presente proyecto, el diseño de ingeniería adoptará la misma solución para las tuberías de proceso que requieran protección catódica, garantizando una protección continua y eficiente.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 26 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

El diseño se realizará siguiendo las recomendaciones de la norma NACE SP0169 para tuberías enterradas, considerando los datos de resistividad del suelo obtenidos en campo y las dimensiones y materiales de las tuberías de proceso. Con esta información se determinará la cantidad, tipo y ubicación óptima de los ánodos de sacrificio, así como la corriente de protección necesaria para mantener la polarización adecuada de cada tramo de tubería.

14.2. JUNTAS AISLANTES

Para garantizar la eficiencia del **Sistema de Protección Catódica** en las tuberías de proceso, se instalarán **juntas aislantes dieléctricas** en puntos estratégicos de la red. Estas juntas tienen como función principal impedir el paso de la corriente de protección catódica en tramos donde no se requiere protección, asegurando que la corriente se concentre únicamente en las tuberías que necesitan ser protegidas.

De acuerdo con las normas NACE SP 0169 y SP 0286, las juntas aislantes se colocarán en:

1. Tramos donde las tuberías enterradas emergen a la superficie.
2. Conexiones con estructuras metálicas superficiales, como válvulas, bombas, compresores y equipos de instrumentación.
3. Uniones entre tuberías de distinto sistema o servicio que puedan interferir eléctricamente.

15. CRITERIOS DE DISEÑO – CIVIL

15.1. DATOS DE DISEÑO


Para realizar los diseños se necesitan los siguientes datos:

Datos de Campo

- Datos de Suelo para el cálculo de fundaciones (Tensiones admisibles del suelo, ángulo de fricción, perfil geológico, etc.).
- Levantamiento Topográfico, para tener la superficie de trabajo, las interferencias naturales y artificiales.

Datos de Gabinete

- Dimensiones y pesos de los equipos.
- Dimensiones y pesos de las válvulas.
- Ruta y elevación del piping.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	ipe-2025-2977-G-MD-003 HOJA:
	TÍTULO:	27 de 50 REV:
	BASES DE DISEÑO	B

15.1.1.CONDICIONES DE CARGA

Los principales tipos de cargas a considerar en este proyecto son:

15.1.1.1. CARGA PERMANENTE (D)

Son las cargas que tienen pequeñas variaciones durante la vida útil de la estructura y de aplicación permanente, se tiene dos casos:

- **Peso Propio**

Son cargas generadas por la geometría de la estructura y el peso específico del material de la misma.

Los pesos específicos de algunos materiales a utilizarse son:

Tabla 13. Peso específico de materiales (kg/m³).

MATERIAL	PESO ESPECÍFICO (Kg/m ³)
Hormigón Armado	2400
Hormigón en masa	2200
Hormigón ciclópeo	2300
Mampostería de ladrillo adobito	1430
Acero	7850


- **Carga Muerta**

Se considera carga muerta a todas aquellas fuerzas que actúan sobre la estructura de manera permanente, tales como:

- Peso de cañerías, válvulas y accesorios
- Peso de equipos y componentes
- Peso de pisos, grating, calaminas, etc.

15.1.1.2. CARGA DE FLUIDO (F)

La carga de fluido (F) se mayorará por los mismos factores de la Carga Muerta, se considera el peso del volumen de agua necesario para llenar las tuberías y equipos.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003 HOJA:
	TÍTULO:	28 de 50 REV:
	BASES DE DISEÑO	B

15.1.1.3. CARGA VIVA (L)

Son las cargas que tienen aplicación no continua sobre la estructura, existiendo variaciones frecuentes y continuas no despreciables en relación a su valor medio.

Las cargas vivas a considerar estarán de acuerdo a las cargas mínimas establecidas en la norma ASCE 7-16 y los valores a usar según el tipo de estructura son:

Tabla 14. Cargas Vivas mínimas según Norma ASCE 7-16.

TIPO DE ESTRUCTURA	CARGA UNIFORME (Kn/m ²)	CARGA UNIFORME (Kg/m ²)
TECHOS	0.96	91.77
PASARELAS Y PLATAFORMAS	2.87	285.52

15.1.1.3.1. CARGAS DE IMPACTO

Las cargas de impacto se considerarán como un porcentaje de la carga viva.

La norma ASCE 7-16 capítulo 4.6.3., recomienda usar los siguientes valores:


- 20% CV para maquinaria liviana de motor
- 50% CV para maquinaria alternante.

15.1.1.3.2. CARGAS PRODUCIDAS POR PUENTE GRÚA

La carga viva de la grúa será la capacidad nominal de la grúa. Ver norma ASCE 7-16 capítulo 4.9.

Las cargas de diseño para las vigas carril, incluyendo las conexiones y los soportes de las grúas de puentes móviles y las grúas monorriel, deberán incluir las cargas máximas de las ruedas de la grúa y las fuerzas de impacto vertical, lateral y longitudinal inducidas por la grúa en movimiento.

- **Carga máxima de la rueda:** Las cargas máximas por rueda serán las cargas por rueda producidas por el peso del puente grúa, según corresponda, mas la suma de la capacidad nominal y el peso del carro, con el carro colocado en su vía en el lugar donde el efecto de carga resultante sea máximo.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 29 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

- **Fuerza de impacto vertical:** Las cargas máximas sobre las ruedas de la grúa determinada de acuerdo al anterior punto, deberán incrementarse en los porcentajes indicados a continuación para considerar los efectos del impacto vertical o vibración.
 - Puente grúa monorriel (motorizados): 25%
 - Puente grúa operado desde cabina o por control remoto: 25%
 - Puente grúa operado por comando eléctrico manual: 10%
 - Puente grúa o grúa monorriel de operación manual: 0%
- **Carga lateral:** La carga lateral sobre las vigas de la vía de la grúa con carros eléctricos deberá calcularse como el 20% de la suma de la capacidad nominal de la grúa y el peso del polipasto y del carro.
- **Carga longitudinal:** La carga longitudinal será el 10% de la carga máxima del puente grúa (dependiendo del tipo de grúa y la velocidad de operación).

15.1.1.4. CARGA DE VIENTO (W)

El efecto del viento se considera en general en los ejes principales de una construcción.

La velocidad básica del viento según la Norma Boliviana APNB 1225003-1 para Santa Cruz es:

$$V_{\max} = 42.60 \text{ m/s}$$

Para la obtención de la presión del viento (q_z) se utilizará la siguiente ecuación de acuerdo a la ASCE 7-16 (Eq 26. 10-1):

$$q_z = 0.613 K_z K_{zt} K_d K_e V^2 \text{ (N/m}^2\text{); } V \text{ in m/s} \quad (26.10-1.si)$$


Donde:

K_z = Coeficiente de presión de viento para una altura $z=h$

K_{zt} = Coeficiente definido por las características topográficas de la zona.

$$K_{zt} = (1 + K_1.K_2.K_3)^2$$

K_d = Coeficiente en función de la dirección del viento

	TIPO DE DOCUMENTO:		CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA		ipe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:		HOJA:
	BASES DE DISEÑO		30 de 50 REV: B

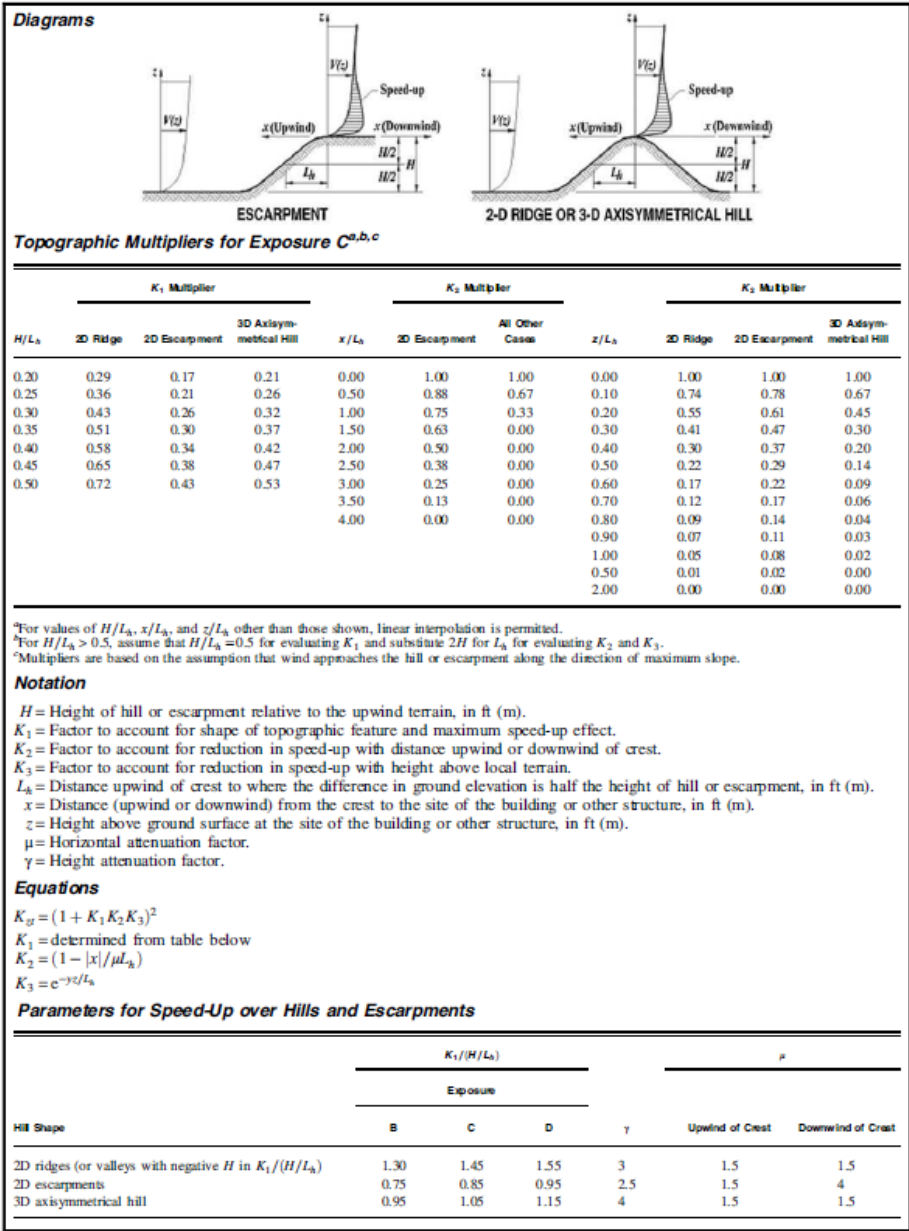
K_e = Factor de terreno de Elevación.

V = Velocidad de diseño del viento en m/s

q_z = Presión del viento en N/m²

Las tablas y figuras necesarias para el cálculo de q_z son las siguientes:

Figura 3. Factor topográfico K_{zt} (ASCE 7-16, Tabla 26.8-1).




	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	ipe-2025-2977-G-MD-003 HOJA:
	TÍTULO:	31 de 50 REV:
	BASES DE DISEÑO	B

Tabla 15. Coeficientes de exposición de presión de la velocidad, K_h y K_z (ASCE 7-16, tabla 26.10-1).

Height above Ground Level, z		Exposure		
ft	m	B	C	D
0–15	0–4.6	0.57 (0.70) ^a	0.85	1.03
20	6.1	0.62 (0.70) ^a	0.90	1.08
25	7.6	0.66 (0.70) ^a	0.94	1.12
30	9.1	0.70	0.98	1.16
40	12.2	0.76	1.04	1.22
50	15.2	0.81	1.09	1.27
60	18.0	0.85	1.13	1.31
70	21.3	0.89	1.17	1.34
80	24.4	0.93	1.21	1.38
90	27.4	0.96	1.24	1.40
100	30.5	0.99	1.26	1.43
120	36.6	1.04	1.31	1.48
140	42.7	1.09	1.36	1.52
160	48.8	1.13	1.39	1.55
180	54.9	1.17	1.43	1.58
200	61.0	1.20	1.46	1.61
250	76.2	1.28	1.53	1.68
300	91.4	1.35	1.59	1.73
350	106.7	1.41	1.64	1.78
400	121.9	1.47	1.69	1.82
450	137.2	1.52	1.73	1.86
500	152.4	1.56	1.77	1.89

^aUse 0.70 in Chapter 28, Exposure B, when $z < 30$ ft (9.1 m).

Notes

- The velocity pressure exposure coefficient K_z may be determined from the following formula:
 For $15 \text{ ft (4.6 m)} \leq z \leq z_g$ $K_z = 2.01(z/z_g)^{2/\alpha}$
 For $z < 15 \text{ ft (4.6 m)}$ $K_z = 2.01(15/z_g)^{2/\alpha}$
- α and z_g are tabulated in Table 26.11-1.
- Linear interpolation for intermediate values of height z is acceptable.
- Exposure categories are defined in Section 26.7.


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA:
	BASES DE DISEÑO	32 de 50
		REV:
		B

Tabla 16. Factor de direccionalidad del viento, K_d (ASCE 7-16, tabla 26.6-1).

Structure Type	Directionality Factor K_d
Buildings	
Main Wind Force Resisting System	0.85
Components and Cladding	0.85
Arched Roofs	0.85
Circular Domes	1.0 ^a
Chimneys, Tanks, and Similar Structures	
Square	0.90
Hexagonal	0.95
Octagonal	1.0 ^a
Round	1.0 ^a
Solid Freestanding Walls, Roof Top Equipment, and Solid Freestanding and Attached Signs	0.85
Open Signs and Single-Plane Open Frames	0.85
Trussed Towers	
Triangular, square, or rectangular	0.85
All other cross sections	0.95
^a Directionality factor $K_d=0.95$ shall be permitted for round or octagonal structures with nonaxisymmetric structural systems.	

Tabla 17. Factor elevación del terreno, K_e (ASCE 7-16, tabla 26.9-1).

Table 26.9-1 Ground Elevation Factor, K_e		
Ground Elevation above Sea Level		Ground Elevation Factor K_e
ft	m	
<0	<0	See note 2
0	0	1.00
1,000	305	0.96
2,000	610	0.93
3,000	914	0.90
4,000	1,219	0.86
5,000	1,524	0.83
6,000	1,829	0.80
>6,000	>1,829	See note 2
Notes 1. The conservative approximation $K_e = 1.00$ is permitted in all cases. 2. The factor K_e shall be determined from the above table using interpolation or from the following formula for all elevations: $K_e = e^{-0.000362z_g}$ (z_g = ground elevation above sea level in ft). $K_e = e^{-0.000119z_g}$ (z_g = ground elevation above sea level in m). 3. K_e is permitted to be taken as 1.00 in all cases.		


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA:
	BASES DE DISEÑO	33 de 50
		REV:
		B

Tabla 18. Coeficiente de presión externa.

Coeficiente de presión externa C_p:			
- Paredes y Techos			
Surface	L/B	C_p	Use With
Paredes →	Windward wall	All values	0.8
		0-1	-0.5
	Leeward wall	2	-0.3
		≥4	-0.2
	Sidewall	All values	-0.7

Techos →

Wind Direction	h/L	Horizontal Distance from Windward Edge	C _p
Normal to Ridge for θ < 10° and Parallel to Ridge for All θ	≤0.5	0 to h/2	-0.9, -0.18
		h/2 to h	-0.9, -0.18
		h to 2h	-0.5, -0.18
		>2h	-0.3, -0.18
	≥1.0	0 to h/2	-1.3 ^b , -0.18
		>h/2	-0.7, -0.18

^aValue is provided for interpolation purposes.
^bValue can be reduced linearly with area over which it is applicable as follows:
^cFor roof slopes greater than 80°, use C_p = 0.8.

Area, ft ²	Area, m ²	Reduction Factor
≤100	≤9.3	1.0
250	23.2	0.9
≥1,000	≥92.9	0.8

La presión del viento (q_z), según el tipo de estructura y su altura, serán indicadas en las respectivas memorias de cálculo.

15.1.1.5. CARGA SÍSMICA (S)

De acuerdo a la Norma Boliviana de Diseño sísmico – 2023, la solicitud sísmica se determina mediante el siguiente método de análisis estático o modal espectral según conveniencia en función al tipo de estructura, de lo cual se desarrolla un resumen de los hitos más importantes a continuación:

- Determinación de PGA (Peak Ground Acceleration)**

Se usará el registro histórico y el mapa probabilístico de amenaza sísmica, para un periodo de retorno de 475 años, con 10% de probabilidad de excedencia.


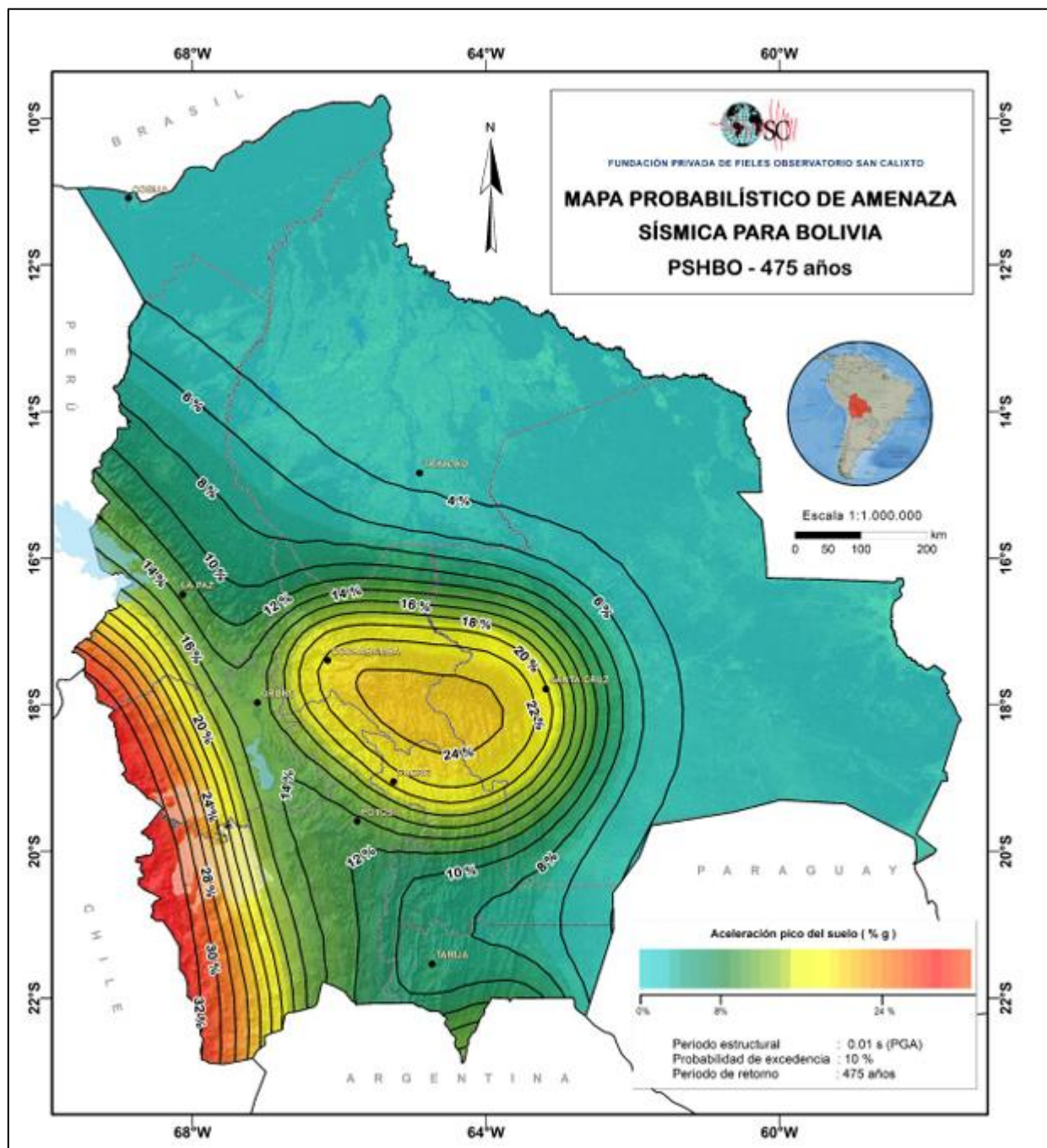

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPÉ-2025-2977-G-MD-003 HOJA:
	TÍTULO:	34 de 50 REV:
	BASES DE DISEÑO	B

Figura 4. Mapa probabilístico de amenaza sísmica.



	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPe-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA:
	BASES DE DISEÑO	35 de 50
		REV:
		B

- **Clasificación de suelo de fundación**

Coeficientes de sitio y factor topográfico, se definen de acuerdo al artículo 5 de la Norma Boliviana de diseño sísmico.

Tabla 19. Tipos de suelos.

Suelo	Descripción
S0	Roca dura
S1	Roca
S2	Suelo muy rígido - roca blanda
S3	Suelo rígido
S4	Suelo blando
S5	Requiere un análisis de respuesta de sitio

- **Coeficientes F_a y F_v**


Los efectos del tipo de suelo en la acción sísmica se pueden considerar a partir de la aplicación de los factores F_a y F_v , en función de la aceleración máxima del suelo S_0 , (PGA)

Tabla 20. Coeficientes F_a y F_v .

Tipo de suelo	S_0					
	< 0.067	0.133	0.200	0.267	0.333	> 0.400
S0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
S1	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
S2	1.3	1.3	1.2	1.1	1.1	1.1
S3	1.6	1.4	1.2	1.1	1.1	1.1
S4	2.4	1.7	1.3	1.2	1.2	1.2

Tabla 21. Coeficiente de sitio de periodo largo F_v .

Tipo de suelo	S_0					
	< 0.053	0.107	0.160	0.213	0.267	> 0.320
S0	0.64	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
S1	0.64	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
S2	1.2	1.3	1.5	1.5	1.5	1.4
S3	2.0	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7
S4	3.5	3.0	2.8	2.4	2.4	2.4

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 36 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

- **Clasificación de estructuras**

En función al nivel de seguridad estructural que deben tener las construcciones, existen 4 tipos (IV, III, II y I) de factores de importancia I_e .

Tipo IV: Pertenecen a este tipo, las estructuras que se espera permanezcan operables después de un evento sísmico, por lo que se incluyen, edificios gubernamentales de utilidad pública (cuarteles de policías, reservorios, plantas de agua potable y de bombeo, etc.) y aquellas cuyo uso es de especial importancia en caso de catástrofe como: hospitales, postas de primeros auxilios, cuarteles de bomberos, garajes para vehículos de emergencia, aeropuertos (terminales, hangares, torres de control, etc.). sistemas de transporte masivo, entre otros.


Edificios industriales que manejen sustancias tóxicas que puedan representar un peligro adicional y/o la contaminación del medio ambiente en caso de colapso de la estructura.

Tipo III: Se contemplan edificios donde frecuentemente existe aglomeración de personas cuyo contenido es de gran valor para la sociedad (bibliotecas, museos, templos, etc.) también se incluyen los siguientes: oficinas municipales, servicios públicos, salas que reúnan gran cantidad de personas (cines y teatros), estadios, graderías, instituciones educativas (escuelas, parvularios y recintos universitarios), terminales de buses, cárceles, lugares de reclusión, centros comerciales y mercados.

Tipo II: Edificaciones habituales tales como viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos, galpones, almacenes e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.

Tipo I: Construcciones aisladas o provisionarias no destinadas a la habitación.

De acuerdo al estudio geotécnico IPE-2025-2977-G-RT-001 el tipo de suelo es A-4 (SC-SM) Arena arcillosa de baja plasticidad de condición in-situ firme, de compacidad mediana, parcialmente seca y de coloración marrón rojizo.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003 HOJA: 37 de 50
	TÍTULO:	REV: B
	BASES DE DISEÑO	

- Factor de importancia I_e

Tabla 22. Factor de importancia I_e .

Tipo	I_e
IV	1.5
III	1.3
II	1.0
I	Nota ¹

- Espectro de respuesta para diseño

Figura 5. Espectro elástico de pseudoaceleración en unidades de g.

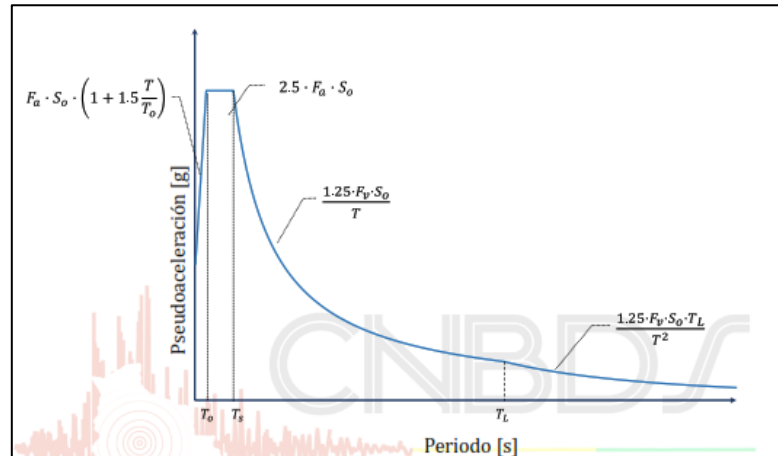


Tabla 23. Parametrización del espectro elástico de pseudoaceleración.

Rama	Pseudoaceleración (S_{ae})
$T < T_0$	$F_a \cdot S_0 \cdot \left(1 + 1.5 \cdot \frac{T}{T_0}\right)$
$T_0 \leq T \leq T_s$	$2.5 \cdot F_a \cdot S_0$
$T_s < T \leq T_L$	$\frac{1.25 \cdot F_v \cdot S_0}{T}$
$T_L < T$	$\frac{1.25 \cdot F_v \cdot S_0 \cdot T_L}{T^2}$


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPB-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 38 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Tabla 24. Periodos límite inicial corto y largo.

T_0	T_s	T_L
$0.15 \cdot \frac{F_v}{F_a}$	$0.5 \cdot \frac{F_v}{F_a}$	$4 \cdot \frac{F_v}{F_a}$

- Espectro de diseño**


El espectro de diseño S_a , es el espectro elástico afectado por los factores de reducción R , de importancia I_e y topografía T , definido por:

$$S_a = \frac{I_e \cdot S_{ae} \cdot \tau}{R}$$

S_{ae} = Espectro elástico de pseudoaceleración definido

Tabla 25. Factor de reducción R_0 , C_d y Δ^1 .

Sistema Estructural	R	C_d	Δ^1
Hormigón²			
Sistema de Pórticos			
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	8	5.5	0.012
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos	5	4.5	0.011
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos	3	2.5	0.010
Sistema de Entrepiso sin Viga			
Entrepisos planos compuestos por losas macizas o nervadas bidireccionales con ábacos, apoyados en columnas con o sin capiteles. Altura máxima, 30 m.	2.5	1.8	0.007
Entrepisos planos compuestos por losas macizas o nervadas bidireccionales con ábacos, apoyados en columnas con o sin capiteles y muros de corte ordinarios. Altura máxima, 30 m.	4	3.6	0.008
Sistema de Entrepiso con Vigas Planas			
Entrepisos planos apoyados en vigas planas y columnas. Altura máxima, 30 m.	2.5	1.8	0.007
Entrepisos planos apoyados en vigas planas ($b \geq 400$ mm) y columnas. Altura máxima, 30 m.	4	3.6	0.008
Entrepisos planos de losas macizas o nervadas bidireccionales con ábacos apoyados en un sistema dual de columnas especiales con o sin capiteles y muros de corte especiales y vigas planas ($b \geq 400$ mm).	5.5	4.5	0.009
Sistema de Muros			
Muros estructurales Especiales	6	5	0.009
Muros estructurales Ordinarios	5	4.5	0.008
Sistemas Duales			
Pórticos Especiales con Muros Especiales	7	5.5	0.010
Pórticos Especiales con Muros Especiales acoplados	8	8	0.010
Pórticos Especiales con Muros Ordinarios	6	5	0.009
Pórticos Intermedios con Muros Especiales	6.5	5	0.009
Pórticos Intermedios con Muros Ordinarios	5.5	4.5	0.008
Pórticos Ordinarios con Muros Ordinarios	4.5	4	0.007
Sistemas de muros de ductilidad limitada	4	3.6	0.006
Acero			
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos	8	5.5	0.010
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos	4.5	4	0.009
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos	3.5	3	0.008
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados	6	5	0.009
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados	3.25	3.25	0.008
Pórticos Excéntricamente Arriostrados	8	4	0.010

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 39 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

15.1.1.6. CARGAS TÉRMICAS (T)

Deben considerarse las cargas térmicas o efecto producido por la dilatación y contracción térmica de los equipos y tuberías.

15.1.1.7. CARGAS DE EMPUJE DE AGUA Y SUELO (H)

Deben considerarse el peso y empuje lateral del suelo y del agua, de acuerdo al diseño de la estructura.

15.1.2.COMBINACIONES DE CARGA

Para las combinaciones de cargas utilizaremos la norma ASCE 7-16, del capítulo 2 “Combinaciones de Cargas”.

- **Combinaciones de diseño**

- 1) $1.4 D + 1.4 F$
- 2) $1.2 D + 1.2 F + 1.6 L + 0.5 L_r$
- 3) $1.2 D + 1.2 F + 1.6 L_r + 1.0 L$
- 4) $1.2 D + 1.2 F + 1.6 L_r + 0.5 W$
- 5) $1.2 D + 1.2 F + 1.0 W + 1.0 L + 0.5 L_r$
- 6) $0.9 D + 0.9 F + 1.0 W$
- 7) $1.2 D + 1.2 F + 1.0 S + 1.0 L$
- 8) $0.9 D + 0.9 F + 1.0 S$

Donde:

D = Carga Muerta o Permanente


F = Carga de Fluido

L = Carga Viva o de Uso.

L_r = Carga Viva de Techo

W = Carga de Viento.

S = Carga Sísmica.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 40 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

A estas combinaciones se deben agregar las siguientes cargas en los siguientes casos:


- Donde la carga H esté presente, esta se debe incluir en las combinaciones de carga de la forma siguiente:
 - a) Donde el efecto de H se suma a la acción de la carga primaria, su factor debe ser de 1.6.
 - b) Donde el efecto de H contrarresta la acción de la carga primaria, su factor debe ser 0.90 si la carga H es permanente y justificable para las condiciones de análisis y 0 para las otras condiciones.

La verificación y control de deformaciones de las estructuras metálicas y de hormigón armado se realizarán con las combinaciones de servicio, es decir con la actuación de las cargas sin mayorar.

- **Combinaciones de servicio**
 - 1) $D + F$
 - 2) $D + F + L$
 - 3) $D + F + L_r$
 - 4) $D + F + 0.75 L + 0.75 L_r$
 - 5) $D + F + 0.6 W$
 - 6) $D + F + 0.75 L + 0.75 (0.6 W) + 0.75 L_r$
 - 7) $0.6 D + 0.6 F + 0.6 W$
 - 8) $D + F + 0.7 E$
 - 9) $D + F + 0.525 E + 0.75 L$
 - 10) $0.6 D + 0.6 F + 0.7 E$

A estas combinaciones se deben agregar las siguientes cargas en los siguientes casos:

- Donde la carga H esté presente, esta se debe incluir en las combinaciones de carga de la forma siguiente:
 - a) Donde el efecto de H se suma a la acción de la carga primaria, su factor debe ser 1.00.
 - b) Donde el efecto de H contrarresta a la acción de la carga primaria, su factor debe ser de 0.60 si la carga H es permanente y justificable para las condiciones de análisis y 0 para todas las otras condiciones.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 41 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

15.2. ESTABILIDAD DE FUNDACIONES

La verificación de estabilidad de fundaciones se realizará con las cargas de servicio, esta verificación se realizará por tensión admisible, al vuelco y al deslizamiento.

- Para verificar al vuelco la estructura debe cumplir

$$FS_v = M_e / M_v \geq 1.5$$

Donde:

FS_v = Factor de Seguridad al Volcamiento

M_e = Momento estabilizador del conjunto estructura-suelo

M_v = Momento volcador del conjunto estructura-suelo

- Para verificar al deslizamiento la estructura debe cumplir

$$FS_d = (N+P) \tan(\phi_d) / V \geq 1.5 \quad (\text{Suelos Arenosos})$$

$$FS_d = ((N+P) \tan(\phi_d) + A c_d) / V \geq 1.5 \quad (\text{Suelos Arcillosos})$$

Donde:

N, V = Esfuerzo normal y cortante en cara superior de la fundación

P = Peso propio de la fundación

$(\phi_d) = 2/3 \phi$ = Ángulo de rozamiento interno de cálculo

$c_d = 0.5 c$ = Valor de cálculo minorado de la cohesión

A = Superficie de la base de la zapata.

En caso de no contar con datos del suelo se puede usar los datos de la siguiente tabla del libro “Suelos, Fundaciones y Muros (María G. Fratelli)”.


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA:
	BASES DE DISEÑO	42 de 50
		REV:
		B

Tabla 26. ϕ Ángulo de fricción interna y δ fricción entre suelo y muro o pilote.


CLASE DE SUELO	ANGULO DE FRICCION INTERNA ϕ		ANGULO DE FRICCION ENTRE SUELO Y MURO O PILOTE δ		$f = \text{tg } \delta$
	Suelo seco	Suelo húmedo	Suelo seco	Suelo húmedo	
Arena gruesa y mediana, bien compactada	40° a 42°	35° a 37°	38°	30°	0.7 a 0.58
Arena gruesa y mediana normal	38°	27°	32°	26°	0.62 a 0.48
Arena gruesa y fina	37°	30°	29°	27°	0.55 a 0.5
Arena mediana y fina	35°	28° a 30°	25°	21°	0.46 a 0.38
Arena fina limosa	36°	29°	29°	26°	0.55 a 0.48
Limo arenoso	35°	26°	26°	25°	0.53 a 0.46
Limo arcilloso y arena mediana	-	31°	-	29°	0.55
Arcilla arenosa	16° a 20°	10° a 18°	17°	12°	0.3 a 0.25
Tierra vegetal	20° a 26°	-	12°	9°	0.2 a 0.15
Limo	15°	-	6°	-	0.1
Turba	5°	-	-	-	-

Tabla 27. Valores de la cohesión c en suelos arcillosos.

CLASE DE SUELO	c (Kg/cm ²)
Arcilla muy blanda	-
Arcilla Blanda	0.05 a 0.10
Arcilla mediana	0.25 a 0.50
Arcilla firme	0.60 a 0.80
Arcilla muy firme	0.80 a 1
Arcilla dura y compacta	1 a 1.2
Arcilla arenosa densa	0.40 a 0.60
Arcilla arenosa suelta	0.10
Limo	0.10 a 0.30

15.3. FUNDACIONES DE EQUIPOS VIBRATORIOS

De acuerdo al capítulo 4.1.2 de la norma ACI 351.3R-04 "Foundation for Dynamic Equipment", se pueden analizar el diseño dinámico de fundaciones por medio de 3 metodologías.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 43 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

15.3.1.METODOLOGÍA EN BASE A LA EXPERIENCIA

De acuerdo al capítulo 4.1.2 de la norma ACI 351.3R-04 “Foundation for Dynamic Equipment”, para equipos con cargas inferiores a 22 KN con fuerzas desbalanceadas bajas. Para ello se realiza una comparación de masas entre los equipos y el peso de la fundación del hormigón para que las ondas vibratorias sean absorbidas por el cimiento y el suelo.

Tabla 28. Relación de Masas.

EQUIPO	RELACIÓN (PESO DE H°A° DE FUNDACIÓN / PESO EQUIPOR
Equipo Centrífugos	3:1
Equipo Reciprocantes	5:1
Monobloques sobre pilotes de equipos rotatorios	2,5:1

Además, la norma recomienda:

- Para evitar el levantamiento, la resultante de presiones debe caer sobre un tercio del cimiento.
- Se recomienda un ancho mínimo de 1.5 veces la distancia vertical del eje del equipo al fondo de la cimentación.


15.3.2.FUERZA ESTÁTICA EQUIVALENTE

De acuerdo al capítulo 4.1.2 de la norma ACI 351.3R-04: “Foundation for Dynamic Equipment”, para equipos con cargas inferiores a 45 KN. Este método asume las cargas como pseudo – dinámicas y requiere de:

Tabla 29. Información Requerida.

EQUIPOS RECIPROCANTES	EQUIPOS ROTATIVOS
Peso del equipo	Peso del equipo y placa base
Fuerzas y momentos desbalanceados	Fuerza pseudo - dinámica vertical de diseño
Fuerzas individuales en los cilindros	Fuerza pseudo - dinámica horizontal de diseño

Con los datos obtenidos se determina la frecuencia natural del equipo y la deformación del sistema y se compara con los criterios de vibración aceptables.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 44 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

15.3.3. ANÁLISIS DINÁMICO

Se realiza análisis de acuerdo al capítulo 4.1.2 de la norma ACI 351.3R-04: "Foundation for Dynamic Equipment, para equipos pesados cargas superiores a 45 KN, en este análisis se incorpora métodos más avanzados y precisos para determinar parámetros de vibración y frecuencias natural.

Tabla 30. Información Requerida.


EQUIPOS RECIPROCANTES	EQUIPOS ROTATIVOS
Fuerzas y momentos desbalanceados primarios aplicadas a la velocidad de la máquina a lo largo de toda la velocidad de operación especificada.	Peso del equipo
Fuerzas y momentos desbalanceados secundarios aplicado a 2 veces la velocidad de la máquina de todas las velocidades de operación especificada	Velocidad de rotación y Magnitud de desplazamientos
Fuerzas individuales en los cilindros	Fuerzas del cilindro individual incluido el fluido y el efecto de inercia.

Con los datos obtenidos se determina lo siguiente:

- Frecuencias naturales y formas modales de un sistema de fundación – equipo
- Respuesta del sistema equipo-fundación causado por las fuerzas dinámicas. determinando las frecuencias naturales y las formas modales del sistema equipo-fundación que proporciona información acerca de las características dinámicas del sistema. adicionalmente, Calculando las frecuencias naturales identifica la frecuencia fundamental, usualmente el menor valor de las frecuencias naturales.

15.4. VIBRACIONES Y RESONANCIA DE LA ESTRUCTURA

La vibración de la estructura ocurre cuando las fuerzas generadas por los compresores, bombas y motores hacen que vibren las vigas de cubierta. Esta vibración produce fallas en las tuberías, una confiabilidad del equipo deficiente y problemas de seguridad. La vibración se debe a que la estructura presenta resonancia mecánica. El término "resonancia" se da cuando las fuerzas dinámicas coinciden con las frecuencias naturales de la estructura de soporte. En resonancia, las

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 45 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

fuerzas se amplifican hasta 20 veces y hacen que las vigas de la cubierta vibren sobre los límites de operación seguros.

El análisis de vibraciones (dinámico) de la estructura predice los efectos dinámicos de la propia maquinaria, de modo que se puede evitar la resonancia. Las cargas dinámicas abarcan desequilibrios, desalineaciones, fuerzas de pulsación, momentos y otras. Las cargas relacionadas con la maquinaria ocurren a lo largo de diferentes bandas de frecuencia y puede causar una resonancia estructural localizada.

Las cargas a analizar para un compresor son las siguientes:


- Fuerzas de desequilibrio creadas por los pesos rotativos y de pistón.
- Fuerzas generadas por la presión del gas en cilindro, entre los extremos.
- Fuerzas verticales en las guías de la cruceta.
- Fuerzas de vibraciones inducidas por pulsaciones en el sistema de tuberías.
- Desalineación
- Movimiento rotacional producidos por el motor del equipo.
- Vibraciones torsionales, que podrían causar vibraciones horizontales de la estructura del compresor.

Para limitar los efectos producidos por la resonancia, se aplicarán las siguientes recomendaciones:

15.4.1.EQUIPOS APOYADOS SOBRE VIGA

La primera frecuencia natural de vibración de la viga de soporte del equipo (f_n), se alejará de la frecuencia de excitación (f_o) del equipo, en función de las condiciones de apoyo de la viga soportante:

VIGA UNIDA A EXTREMOS DE:	LUZ	RELACIÓN f_n/f_o
Columna	Hasta 6 m	≥ 1.5 ó ≤ 0.80
Columna	Sobre 6 m	≥ 2.0 ó ≤ 0.75
Viga	Hasta 6 m	≥ 2.0 ó ≤ 0.75
Viga	Sobre 6 m	≥ 2.5 ó ≤ 0.75

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 46 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Vigas principales de soporte de equipos vibratorios, tendrán una razón de esbeltez (alto/luz) de 1/12 como mínimo. Se permitirán esbelteces menores en caso que el análisis dinámico de deformaciones para las cargas cíclicas lo permita.

Se proveerá a los elementos estructurales de soportes laterales, arriostramientos y/o apoyos elásticos adecuados, para minimizar las vibraciones.

15.4.2.EQUIPOS APOYADOS SOBRE ESTRUCTURAS Y/O FUNDACIONES

Para asegurar la separación de la componente principal de la frecuencia de la estructura y/o fundación (f_n), respecto a la frecuencia de la máquina, se deberá asegurar las siguientes condiciones:

- $f_n/f_o \leq 0.67$
- $f_n/f_o \geq 1.5$

15.5. ESTRUCTURAS DE HORMIGÓN ARMADO

Las estructuras del hormigón armado se calcularán y verificarán, según la norma ACI 318-19 para resistencia de hormigón y relación de agua/cemento de acuerdo al ITM.120.


Se consideran los siguientes criterios básicos para el diseño de estructuras de hormigón de acuerdo a la ACI 318-19:

- El diámetro mínimo de refuerzo será de 12 mm a utilizar en fundaciones.
- El diámetro mínimo para estribos de columnas vigas será de 6 mm.
- En losas la cuantía mínima será de 0,0018 A_c por retracción y temperatura.
- En muros la cuantía mínima será de 0,0015 A_c para la armadura vertical.
- En columnas la cuantía mínima será 0,01 A_c para el refuerzo principal
- En fustes la cuantía mínima será 0,005 A_c para el refuerzo principal.
- En losas y muros, la separación máxima entre barras de armadura no debe ser mayor a 3 veces el espesor de la losa o muro, sin exceder de 40 cm.

15.5.1.HORMIGÓN

Hormigón para fundaciones, losas, muros, vigas y columnas:

$f'c = 25 \text{ MPa} = 254 \text{ kg/cm}^2$ (Contenido de cemento $\geq 350 \text{ kg/ m}^3$; $a/c = 0,45$).

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 47 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Hormigón para bases de equipos vibratorios:

$f'c = 28 \text{ MPa} = 285 \text{ kg/cm}^2$ (Contenido de cemento $\geq 380 \text{ kg/m}^3$; $a/c = 0,54$).

Hormigón pobre de nivelación y limpieza:

$f'c = 18 \text{ MPa} = 183 \text{ kg/cm}^2$ (Contenido de cemento $\geq 150 \text{ kg/m}^3$)

Hormigón para canales:

$f'c = 21 \text{ MPa} = 214 \text{ kg/cm}^2$. (Contenido de cemento $\geq 300 \text{ kg/m}^3$; $a/c = 0.45$)

15.5.2.ACERO DE REFUERZO

Para el diseño de la estructura se considerará un acero de refuerzo tipo barra corrugada con las siguientes características:


- **Límite elástico f_y :** $500 \text{ MPa} = 5000 \text{ kg/cm}^2$

15.5.3.RECUBRIMIENTO

Los recubrimientos para la armadura serán los especificados en la norma ACI 318-19, y se listan en la siguiente tabla:

Tabla 31. Recubrimiento mecánico.

7.7.1 concreto construido en sitio (no preesforzado)	
Estado	Recubrimiento mínimo, mm
a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
b) Concreto expuesto a suelo o a la intemperie:	
Barras 19 mm (3/4") a 57 mm (2-1/4")	50
Barras 16 mm (5/8"), alambre MW200 ó MD200 (16 mm (5/8") de diámetro) y menores	40
c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo:	
* Losas, muros, viguetas:	
Barras 43 mm (1-3/4") y 57 mm (2-1/4")	40
Barras 36 mm (1-5/16") y menores	20
* Vigas, columnas:	
Armadura principal, estribos, espirales	40
* Cáscaras y placas plegadas:	
Barra 19 mm (3/4") y mayores	20
Barras 16 mm (5/8"), alambre MW200 ó MD200 (16 mm (5/8") de diámetro) y menores	15

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IFE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 48 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

15.6. ESTRUCTURAS METÁLICAS

Las estructuras metálicas se calcularán y verificarán según norma AISC 360-16, por el método de cálculo LRFD.

Las estructuras metálicas se diseñarán con los siguientes materiales:

- Perfiles laminados en caliente, ASTM A 572 Gr 50 o su equivalente y ASTM A36.
- Angulares, Pletinas, Barras redondas, ASTM A36.
- Perfiles conformados en frío. ASTM A36 y galvanizado SAE 1008/1010.
- Tornillos A325, Tuerca A-563 Grado DH y ASTM F-436 para las arandelas.
- Pernos de anclaje ASTM A-193 Gr. B7 Galvanizado o Zincado.

15.6.1.DIRECTRICES DE DISEÑO

- Las uniones serán soldadas o empernadas según lo indique el diseño.
- Para las cubiertas se usará calamina galvanizada trapezoidal No 26 (0.4 mm) con anclajes tipo gancho, clavos o tornillos.
- Las correas deben tener una separación entre 1.00 m a 1.5 m.
- Las cargas indicadas para los miembros estructurales o de arriostramiento para diseño de conexiones no provocarán tensiones mayores a las admisibles para el material empleado.
- Flechas admisibles y desplazamientos laterales según la siguiente tabla:


	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA: 49 de 50
	BASES DE DISEÑO	REV: B

Tabla 32. Valores límite para flechas admisibles y desplazamientos laterales.

EDIFICIOS INDUSTRIALES				
	Elemento	Flecha total	Flecha por carga variable	
			Por	
Deformaciones verticales	Barras soportando cubiertas rígidas	L/200	Sobrecarga Útil	L/240
	Barras soportando cubiertas flexibles	L/150	Sobrecarga Útil	L/180
	Barras soportando pisos	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Vigas carril para grúas de capacidad $\geq 200 \text{ Kn}$		Rueda sin impacto	L/800 (c)
	Vigas carril para grúas de capacidad $< 200 \text{ Kn}$		Rueda sin impacto	L/600 (c)
Desplazamiento lateral (d)	Vigas carril		Frenado transversal	L/600 (c)
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de viento	H/150	Viento	H/160
	Desplazamiento de columnas con respecto a base por acción de puente grúa.		Frenado puente Grúa	H/400 (c)
PARA OTROS EDIFICIOS				
Deformaciones verticales	Techos en general	L/200	Sobrecarga Útil	L/250
	Techos con carga frecuente de personas (no mantenimiento)	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Pisos en general	L/250	Sobrecarga Útil	L/300
	Barras de pisos o techos que soporten elementos y revestimientos susceptibles de fisuración	L/300	Sobrecarga Útil	L/350
	Pisos que soporten columnas	L/400	Sobrecarga Útil	L/500
	Donde la deformación puede afectar el aspecto	L/250		
Desplazamiento lateral (d)	Desplazamiento total del edificio referido a su altura total		Viento	$H_T/300$
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones no tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	$H_p/400$
	Desplazamiento relativo de pisos cuando cerramientos y divisiones tienen previsiones especiales para independizarse de las deformaciones de la estructura		Viento	$H_p/300$
OBSERVACIONES				
<p>(a) La deformación vertical debida a acciones de servicio $f(\text{máx})$ a comparar con los valores límites de la tabla será: $f(\text{máx}) = f - f_o$ f = deformación total calculada con la combinación de acciones más desfavorable incluyendo eventuales deformaciones por efectos de larga duración (fluencia lenta). f_o = contraflecha adoptada.</p> <p>(b) L = distancia entre apoyos. Para ménsulas $L = 2$ veces la longitud del voladizo. H = altura de la columna. H_T = altura total del edificio. H_p = altura del piso.</p> <p>(c) Los valores para grúas son orientativos. Para operación de grúa sensible a deformaciones verticales o desplazamientos laterales deberán fijarse límites más rigurosos.</p> <p>(d) Para combinaciones con acciones sísmicas</p>				

- f) En sitios donde pueda existir acumulación de agua debido a lluvia o lavado se dispondrá la evacuación de estos líquidos mediante tuberías de drenaje de PVC Ø2" con una pendiente de 0.5% mínimo.

	TIPO DE DOCUMENTO:	CÓDIGO DEL DOCUMENTO:
	MEMORIA DESCRIPTIVA	IPE-2025-2977-G-MD-003
	TÍTULO:	HOJA:
	BASES DE DISEÑO	50 de 50
		REV:
		B

15.7. ESCALERAS Y PLATAFORMAS

Se procederá a proyectar escaleras y plataformas en todas aquellas zonas donde se requiera para cruces de tuberías, mantenimiento de válvulas y equipos.

Los criterios básicos de diseño serán:

- Dimensión horizontal mínima de 100 cm para cualquier pasillo, descanso o plataforma.
- Ancho mínimo de 100 cm para escaleras o rampa.
- Ancho mínimo de 28 cm de huella.
- Altura máxima de 18.5 cm de contrahuella.
- Altura máxima de 3.40 m entre descansos.
- Las barandas y los pasamanos requeridos deben ser continuos en la longitud total de cada tramo de escaleras.
- Los pasamanos de las escaleras deben estar por lo menos a 86 cm y no más de 96 cm por encima de la superficie de los escalones, medidos verticalmente desde el borde del umbral del escalón hasta la parte superior de los pasamanos, conforme al ITS.028.
- Las escaleras marineras deberán tener guarda hombre desde una altura de 2.40m para arriba conforme al ITS.028.
- El piso de las plataformas y los peldaños de escaleras serán de grating.

15.8. SOPORTES PARA TUBERÍAS

15.8.1.FORMAS Y TIPOS DE SOPORTES

La forma y tipo de los soportes está en función de la configuración del piping y de las restricciones colocadas en el análisis de Stress.

Los soportes de tuberías que reciban las cargas importantes, como resultado del análisis de stress serán calculados para garantizar su correcto funcionamiento.

Así también donde no existan análisis de stress deberán ser calculados todos los soportes de tuberías, válvulas etc., agrupándolos por rangos de cargas.