



Universidad Nacional de Rosario
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura



ESCUELA DE POSGRADO Y EDUCACIÓN CONTÍNUA

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL

PROYECTO FINAL:

**“Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores
Eólicos On-Shore con Torres Metálicas”**

ALUMNO: Ing. Diego Valle
DIRECTOR: Msc. Ing. Nicolás Bolcatto



| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

LISTADO DE DOCUMENTOS



| Nº DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN | REVISIÓN |
|--------------|---|----------|
| CI-MC-001 | Memoria de Cálculo y Descriptiva | 1 |
| CI-MC-001 | Memoria de Cálculo y Descriptiva - ANEXO I | 1 |
| CI-MC-001 | Memoria de Cálculo y Descriptiva - ANEXO II | 1 |
| CI-PL-0100 | Plano de Fundaciones | 0 |
| CI-PL-0101 | Plano de Notas | 0 |
| CI-PL-0102 | Plano de Interfaz | 0 |
| CI-PL-0103 | Plano de Cañerías Embebidas | 0 |
| CI-PL-0104 | Plano de Armaduras | 0 |
| CI-LH-0001 | Listado de Hierros | 1 |

ÍNDICE



| | |
|---|----|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 10 |
| 1.1. OBJETIVO | 10 |
| 1.2. ALCANCE DE LA PRESENTE MEMORIA..... | 10 |
| 1.3. NORMAS DE REFERENCIA..... | 10 |
| 1.4. DOCUMENTOS RELACIONADOS | 11 |
| 1.5. ANEXOS | 11 |
| 2. DATOS DE ENTRADA | 12 |
| 2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FUNDACIONES | 12 |
| 2.2. ANÁLISIS DE CARGAS | 13 |
| 2.3. MÉTODOS DE DISEÑO SEGÚN CIRSOC 201-2005..... | 15 |
| 2.3.1. FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA | 15 |
| 2.3.2. FACTORES DE MAYORACIÓN DE CARGAS..... | 16 |
| 2.3.2.1. CARGAS SEGÚN CIRSOC 201-2005 | 16 |
| 2.3.2.2. CARGAS SEGÚN IEC 61400-1 | 17 |
| 2.3.3. FACTORES DE ADOPTADOS | 18 |
| 2.4. MATERIALES..... | 19 |
| 2.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO..... | 19 |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |



| | | |
|--------|---|----|
| 3. | MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS..... | 20 |
| 3.1. | DESCRIPCIÓN GENERAL | 20 |
| 3.2. | MODELOS EN SAP 2000 | 21 |
| 3.2.1. | SISTEMA DE EJES..... | 21 |
| 3.2.2. | MATERIALES..... | 22 |
| 3.2.3. | CONDICIONES DE CONTORNO..... | 22 |
| 3.2.4. | APLICACIÓN DE CARGAS | 26 |
| 3.3. | MODELO EN PLAXIS..... | 27 |
| 3.3.1. | DEFINICIÓN DE ESTRATIGRAFÍA | 28 |
| 3.3.2. | MATERIALES..... | 30 |
| 3.3.3. | SISTEMA DE EJES..... | 31 |
| 3.3.4. | CONDICIONES DE CONTORNO..... | 32 |
| 3.3.5. | APLICACIÓN DE CARGAS | 32 |
| 3.3.6. | FASES DE ANÁLISIS | 33 |
| 3.3.7. | MALLADO..... | 33 |
| 4. | VERIFICACIONES DE ESTABILIDAD Y EN SERVICIO | 34 |
| 4.1. | ANÁLISIS DE PRESIONES SOBRE EL SUELO | 35 |
| 4.1.1. | PRESIONES E/C 1.2 | 35 |
| 4.1.2. | PRESIONES E/C 1.3 | 38 |
| 4.1.3. | PRESIONES E/C 1.4.1..... | 40 |
| 4.1.4. | PRESIONES E/C 1.4.2..... | 43 |
| 4.1.5. | PRESIONES E/C 1.4.3..... | 45 |
| 4.1.6. | CONCLUSIONES | 47 |
| 4.2. | CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO | 49 |
| 4.3. | VERIFICACIÓN AL VUELCO | 50 |
| 4.4. | VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO | 51 |
| 4.5. | LEVANTAMIENTO DE LA FUNDACIÓN..... | 52 |
| 4.6. | VERIFICACION DE RIGIDEZ ROTACIONAL DINÁMICA | 56 |
| 4.7. | VERIFICACION DE RIGIDEZ ROTACIONAL ESTÁTICA..... | 59 |
| 4.8. | VERIFICACION DE RIGIDEZ HORIZONTAL..... | 61 |
| 4.9. | ASENTAMIENTOS..... | 62 |
| 4.10. | INSPECCIÓN DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN | 62 |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | | |
|----------|--|----|
| 5. | COMPROBACIONES ESTRUCTURALES | 63 |
| 5.1. | ARMADURA INFERIOR DE LA FUNDACIÓN | 64 |
| 5.1.1. | CÁLCULO DEL ARMADO RADIAL INFERIOR | 64 |
| 5.1.2. | CÁLCULO DEL ARMADO CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | 65 |
| 5.2. | ARMADURA SUPERIOR DE LA FUNDACIÓN..... | 67 |
| 5.2.1. | CÁLCULO DEL ARMADO RADIAL SUPERIOR | 67 |
| 5.2.2. | CÁLCULO DEL ARMADO CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR..... | 68 |
| 5.3. | ARMADURA DE CORTE | 70 |
| 5.3.1. | ESFUERZOS INTERNOS | 70 |
| 5.3.2. | DIMENSIONAMIENTO AL CORTE | 72 |
| 5.4. | COMPROBACIONES DE FISURACIÓN | 72 |
| 5.5. | COMPROBACIONES DE LA INTERFAZ | 77 |
| 5.5.1. | COMPROBACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE DESCOMPRESIÓN (SERVICIO) | 77 |
| 5.5.2. | ALARGAMIENTO DE LOS PERNOS DEBIDO AL PRETENSADO..... | 79 |
| 5.5.3. | COMPROBACIÓN DEL ESTADO LÍMITE ÚLTIMO | 79 |
| 5.5.3.1. | VERIFICACIÓN DEL ACERO DE LOS PERNOS..... | 80 |
| 5.5.3.2. | MÁXIMA COMPRESIÓN EN EL GROUT..... | 81 |
| 5.5.3.3. | MÁXIMA COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN DEL PEDESTAL | 81 |
| 5.5.3.4. | ARMADURA BAJO EL GROUT | 82 |
| 5.5.3.5. | COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SOBRE LA BRIDA INFERIOR..... | 83 |
| 5.5.3.6. | ARMADO SOBRE LA BRIDA INFERIOR..... | 84 |
| 5.5.3.7. | DESPRENDIMIENTO POR CORTE DEL HORMIGÓN DE UN ANCLAJE | 85 |
| 5.5.3.8. | ARMADURA DE CORTE POR FRICCIÓN EN EL FUSTE | 86 |
| 5.5.3.9. | ARMADURA DE PUNZONADO | 86 |
| 6. | VERIFICACIÓN A FATIGA | 88 |
| 6.1. | PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE SOLICITACIONES | 89 |
| 6.2. | CONSIDERACIONES PARA EL HORMIGÓN | 90 |
| 6.3. | CONSIDERACIONES PARA EL ACERO..... | 91 |
| 6.4. | COMPROBACIONES EN LOSA..... | 93 |
| 6.4.1. | HORMIGÓN..... | 93 |
| 6.4.1.1. | TENSIONES RADIALES INFERIORES..... | 93 |
| 6.4.1.2. | TENSIONES RADIALES SUPERIORES..... | 95 |



| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | | |
|----------|--|-----|
| 6.4.1.3. | TENSIONES CIRCUNFERENCIALES INFERIORES | 97 |
| 6.4.1.4. | TENSIONES CIRCUNFERENCIALES SUPERIORES | 99 |
| 6.4.2. | ACERO | 101 |
| 6.4.2.1. | ARMADURA RADIAL INFERIOR | 104 |
| 6.4.2.2. | ARMADURA RADIAL SUPERIOR..... | 105 |
| 6.4.2.3. | ARMADURA CIRCUNFERENCIAL INFERIOR..... | 106 |
| 6.4.2.4. | ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | 107 |
| 6.4.2.5. | ARMADURA DE CORTE | 108 |
| 6.5. | COMPROBACIONES EN FUSTE..... | 109 |
| 6.5.1. | GROUT | 109 |
| 6.5.2. | HORMIGON DEBAJO DEL GROUT | 110 |
| 6.5.3. | HORMIGON SOBRE BRIDA INFERIOR..... | 111 |
| 6.5.4. | ACERO DEBAJO DE LA BRIDA SUPERIOR..... | 111 |
| 6.5.5. | ACERO POR ENCIMA DE LA BRIDA INFERIOR | 113 |



| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Figura N° 1 - Geometría de Fundaciones | 12 |
| Figura N° 2 – Sistema de referencia de cargas | 13 |
| Figura N° 3 – Altura de aplicación de las cargas | 13 |
| Figura N° 4 – Geometría modelo de elementos finitos | 21 |
| Figura N° 5 – Orientación de ejes locales | 21 |
| Figura N° 6 – Gráfico Desplazamiento-Tensión | 24 |
| Figura N° 7 – Gráfico Desplazamiento-Tensión Rectificado | 24 |
| Figura N° 8 – Curva de Respuesta Resortes No Lineales | 25 |
| Figura N° 9 – Casos de cargas paralelo (imagen izda.) y diagonal (imagen dcha.) | 26 |
| Figura N° 10 – Aplicación de las cargas externas sobre el fuste | 27 |
| Figura N° 11 - Esquema del modelo – PLAXIS 3D | 28 |
| Figura N° 12 - Sistema de ejes coordenados – PLAXIS 3D | 31 |
| Figura N° 14 – Casos de cargas paralelo (imagen izda.) y diagonal (imagen dcha.) | 32 |
| Figura N° 14 – Aplicación de cargas en modelo – PLAXIS 3D | 32 |
| Figura N° 15 – Parámetros para el mallado – PLAXIS 3D | 33 |
| Figura N° 16 – Mallado resultante – PLAXIS 3D | 34 |
| Figura N° 17 – Diagrama de presiones para el estado E/C 1.2 – Resortes Lineales | 35 |
| Figura N° 18 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.2 – Resortes No Lineales | 36 |
| Figura N° 19 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.2 – Modelo Plaxis | 36 |
| Figura N° 20 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.2 | 37 |
| Figura N° 21 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.2 | 37 |
| Figura N° 22 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.3 – Resortes Lineales | 38 |
| Figura N° 23 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.3 – Resortes No Lineales | 38 |
| Figura N° 24 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.3 – Modelo Plaxis | 39 |
| Figura N° 25 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.3 | 39 |
| Figura N° 26 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.3 | 40 |
| Figura N° 27 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.1 – Resortes Lineales | 40 |
| Figura N° 28 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.1 – Resortes No Lineales | 41 |
| Figura N° 29 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.1 – Modelo Plaxis | 41 |
| Figura N° 30 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.4.1 | 42 |
| Figura N° 31 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.4.1 | 42 |
| Figura N° 32 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.2 – Resortes Lineales | 43 |
| Figura N° 33 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.2 – Resortes No Lineales | 43 |
| Figura N° 34 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.2 – Modelo Plaxis | 44 |
| Figura N° 35 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.4.2 | 44 |
| Figura N° 36 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.4.2 | 45 |
| Figura N° 37 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.3 – Resortes Lineales | 45 |
| Figura N° 38 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.3 – Resortes No Lineales | 46 |
| Figura N° 39 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.3 – Modelo Plaxis | 46 |



| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | |
|--|-----|
| Figura N° 40 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.4.3 | 47 |
| Figura N° 41 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.4.3 | 47 |
| Figura N° 42 – Situaciones de evaluación de despegue..... | 53 |
| Figura N° 43 – Evaluación de SITUACIÓN 1 por MEF SAP 2000 | 54 |
| Figura N° 44 – Evaluación de SITUACIÓN 2 por MEF SAP 2000 | 55 |
| Figura N° 45 - Momentos de flexión radial M11 [kNm/m]..... | 64 |
| Figura N° 46 - Momentos de flexión circunferenciales M22 [kNm/m] | 66 |
| Figura N° 47 - Momentos de flexión radiales M11 [kNm/m] | 67 |
| Figura N° 48 - Momentos de flexión circunferencial M22 [kNm/m]..... | 69 |
| Figura N° 49 - Esfuerzos de corte V13..... | 70 |
| Figura N° 50 - Esfuerzo de corte V23..... | 71 |
| Figura N° 51 - Esquema de Interfaz - Jaula de Pernos..... | 77 |
| Figura N° 52 – Distribución de resultantes a la izquierda y a la derecha del eje | 86 |
| Figura N° 53 – Momentos de flexión radial en ELU | 89 |
| Figura N° 54 – Curvas de regresión para Mu11 en ELU para una sección determinada | 89 |
| Figura N° 55 – Tensiones S11 bottom en ELU..... | 93 |
| Figura N° 56 – Curva de regresión para S11 bottom en R= 2,70 m | 93 |
| Figura N° 57 – Tensiones S11 top en ELU | 95 |
| Figura N° 58 – Curva de regresión para S11 top en R= 2,70 m | 95 |
| Figura N° 59 – Tensiones S22 bottom en ELU..... | 97 |
| Figura N° 60 – Curva de regresión para S22 bottom en R= 2,70 m | 97 |
| Figura N° 61 – Tensiones S22 top en ELU | 99 |
| Figura N° 62 – Curva de regresión para S22 top en R= 2,70 m | 99 |
| Figura N° 63 – Momentos M11 y curva de regresión para Mu11 en R= 2,70 m | 101 |
| Figura N° 64 – Normales F11 y curva de regresión para Nu11 en R= 2,70 m | 101 |
| Figura N° 65 – Corte V13 y curva de regresión para Vu13 en R= 3,74 m | 102 |
| Figura N° 66 – Momentos M22 y curva de regresión para Mu22 en R= 2,70 m | 102 |
| Figura N° 67 – Normales F22 y curva de regresión para Nu22 en R= 2,70 m | 103 |
| Figura N° 68 – Corte V23 y curva de regresión para Vu23 en R= 3,74 m | 103 |



| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla Nº 1 – Cargas permanentes en las fundaciones | 13 |
| Tabla Nº 2 - Cargas extremas anormales | 14 |
| Tabla Nº 3 - Cargas extremas normales..... | 14 |
| Tabla Nº 4 - Cargas cuasi-permanentes..... | 14 |
| Tabla Nº 5 - Cargas para evaluar vuelco..... | 14 |
| Tabla Nº 6 - Cargas para evaluar deslizamiento..... | 14 |
| Tabla Nº 7 - Cargas para evaluar capacidad de carga..... | 15 |
| Tabla Nº 8 - Cargas para evaluar tensión en los pernos | 15 |
| Tabla Nº 9 - Factores de minoración de resistencia según CIRSOC 201-2005..... | 16 |
| Tabla Nº 10 – Factores parciales de carga en ELU de acuerdo con IEC 61400-1 para las cargas de la torre | 18 |
| Tabla Nº 11 - Factores de minoración de resistencia según CIRSOC 201-2005 | 19 |
| Tabla Nº 12 – Características de los materiales..... | 19 |
| Tabla Nº 13 – Análisis en los MEF | 20 |
| Tabla Nº 14 – Módulos de balastos iniciales según estados de carga | 23 |
| Tabla Nº 15 – Parámetros geométricos de contacto según estados de carga..... | 23 |
| Tabla Nº 16 – Definición del Pozo de Exploración – PLAXIS 3D | 28 |
| Tabla Nº 17 – Definición del material MS – PLAXIS 3D..... | 29 |
| Tabla Nº 18 – Definición del material Roca Granítica Alterada 1 – PLAXIS 3D..... | 29 |
| Tabla Nº 19 – Definición del material Roca Granítica Alterada 2 – PLAXIS 3D..... | 30 |
| Tabla Nº 20 – Definición del material Roca Granítica Alterada 3 – PLAXIS 3D..... | 30 |
| Tabla Nº 21 – Definición del material hormigón en PLAXIS 3D..... | 31 |
| Tabla Nº 22 – Cargas para las verificaciones de estabilidad y de servicio | 34 |
| Tabla Nº 23 - Propiedades de la sección efectiva..... | 35 |
| Tabla Nº 24 – Comparativa de presiones y desplazamientos para los MEF | 48 |
| Tabla Nº 25 – Verificación analítica de capacidad portante según DNV-RisØ..... | 50 |
| Tabla Nº 26 – Tensiones en el suelo según Modelo Rígido y MEF | 50 |
| Tabla Nº 27 – Evaluación del vuelco..... | 51 |
| Tabla Nº 28 – Evaluación del deslizamiento | 52 |
| Tabla Nº 29 – Evaluación del despegue SITUACIÓN 1 – E/C 1.2 | 53 |
| Tabla Nº 30 – Evaluación del despegue SITUACIÓN 2 – E/C 1.3 | 55 |
| Tabla Nº 31 – Verificación de rigideces rotacionales dinámicas en cada posición..... | 58 |
| Tabla Nº 32 – Verificación de desplazamientos por giros rotacionales | 59 |
| Tabla Nº 33 – Verificación de rigideces rotacionales estáticas en cada posición..... | 60 |
| Tabla Nº 34 - Verificación de rigideces horizontales en cada posición..... | 61 |
| Tabla Nº 35 - Verificación de rigideces rotacionales estáticas en cada posición..... | 63 |
| Tabla Nº 36 – Armadura radial inferior..... | 65 |
| Tabla Nº 37 – Armadura circunferencial inferior..... | 66 |
| Tabla Nº 38 – Armadura radial superior..... | 68 |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | |
|---|-----|
| Tabla N° 39 – Armadura circunferencial superior..... | 69 |
| Tabla N° 40 – Armaduras de corte | 72 |
| Tabla N° 41 - Verificación de armadura radial inferior | 73 |
| Tabla N° 42 – Armadura radial superior..... | 74 |
| Tabla N° 43 – Armadura circunferencial inferior | 75 |
| Tabla N° 44 – Armadura circunferencial superior..... | 76 |
| Tabla N° 45 – Casos de carga para el diseño de la interfaz | 77 |
| Tabla N° 46 – Evaluación de D para S11 bottom (CASE I, II)..... | 94 |
| Tabla N° 47 – Evaluación de D para S11 top (CASE I, II) | 96 |
| Tabla N° 48 – Evaluación de D para S22 bottom (CASE I, II)..... | 98 |
| Tabla N° 49 – Evaluación de D para S22 top (CASE I, II) | 100 |
| Tabla N° 50 – Evaluación de D para Armadura Radial Inferior (CASE I)..... | 104 |
| Tabla N° 51 – Evaluación de D para Armadura Radial Inferior (CASE II)..... | 104 |
| Tabla N° 52 – Evaluación de D para Armadura Radial Superior (CASE I) | 105 |
| Tabla N° 53 – Evaluación de D para Armadura Radial Superior (CASE II) | 105 |
| Tabla N° 54 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Inferior (CASE I)..... | 106 |
| Tabla N° 55 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Inferior (CASE II)..... | 106 |
| Tabla N° 56 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Superior (CASE I) | 107 |
| Tabla N° 56 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Superior (CASE II)..... | 107 |
| Tabla N° 58 – Evaluación de D para Armadura de Corte (CASE I)..... | 108 |
| Tabla N° 59 – Evaluación de D para Armadura de Corte (CASE II) | 108 |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

1. INTRODUCCIÓN

1.1. OBJETIVO

El objetivo de este documento es justificar el diseño de las cimentaciones superficiales circulares de canto variable para los Aerogeneradores de tipo **4.0-137 50 Hz** que serán instalados en un Parque Eólico, ubicado al sur de la provincia de Bueno Aires, Argentina.

El parque eólico está compuesto por 13 Aerogeneradores, con sus obras auxiliares. Las mismas son caminos, plataformas y el conexionado eléctrico.



Las torres consisten en un tubo cónico de acero sobre el cual se ubica la turbina. La altura en la que se ubica la misma es de 111.50 m respecto al nivel de terreno natural. La conexión de la torre con la fundación se resuelve mediante una Jaula de Pernos de Anclaje.

1.2. ALCANCE DE LA PRESENTE MEMORIA

Esta memoria de cálculo es válida para las fundaciones de los 13 aerogeneradores del Parque Eólico. No es alcance de la presente memoria las torres metálicas, caminos, plataformas, ni las obras de drenajes.

1.3. NORMAS DE REFERENCIA

1. **ACI American Concrete Institute.** *ACI 318S-11 - Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural y Comentario.* Farmington Hills - Michigan - EE.UU : ACI, 2011.
2. **Frank, y otros.** *EN 1997-1, Eurocode 7: Geotechnical Design, Part 1: General Rules.* Westminster, London : ICE Publishing, 2005.
3. **DNV/RisØ.** *Guidelines for Design of Wind Turbines.* Copenhagen, Dinamarca : Jydsk Centraltrykkeri, 2002.
4. **IEC International Electrotechnical Commission.** *INTERNATIONAL STANDARD - IEC 61400-1 - Wind Turbines - Part 1: Design Requirements.* Ginebra, Suiza : IEC, 2005.
5. **INTI CIRSOC.** *Reglamento CIRSOC 102 2005 - Reglamento Argentino de Acción del Viento sobre las Construcciones.* Buenos Aires - Argentina : INTI, 2008.
6. **INTI-CIRSOC.** *Reglamento CIRSOC 201 2005 - Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón.* Buenos Aires - Argentina : INTI, 2005.
7. **INPRES INTI CIRSOC.** *Reglamento INPRES CIRSOC 103 2018- Reglamento Argentino para Construcciones Sismorresistentes.* Buenos Aires - Argentina : INTI, 2018.
8. **DNV·GL AS.** *STANDARD DNVGL-ST-0126 - Support structures for wind turbines.* s.l. : DNV GL AS, 2016.
9. **COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BETON.** *CEB-FIP MODEL CODE 1990 – Design Code.* Lausanne, Suiza: THOMAS TELFORD SERVICES Ltd, THOMAS TELFORD HOUSE, 1993.
10. **CEN EN 1992-1-1, Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1: General Rules and rules for buildings.** Westminster, Brussels: CEN, 2004.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

1.4. DOCUMENTOS RELACIONADOS

11. **Archivo del tecnólogo.** *Technical Documentation - Wind Turbine Generator Systems - All Turbine Types - 50/60 Hz - Information on the Design, Dealling and Execution of the Foundation for the On-Shore - Wind Turbines with Tubular Steel Towers.*

12. **Archivo del Tecnólogo.** *Foundation Load Specification for Wind Turbine Generator Systems - 4.0-137 50 Hz - 111.5m Hub Height IEC Class S.*

13. CI-PL-0100 – Plano de Fundaciones – Detalles

14. CI-PL-0101 – Plano de Notas de Fundaciones



15. CI-PL-0102 – Plano de Detalles – Interfaz

16. CI-PL-0104 – Plano de Armaduras de Fundaciones

1.5. ANEXOS

ANEXO I – Cálculo del coeficiente de balasto.

ANEXO II – Cálculo de módulos estáticos equivalentes

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

2. DATOS DE ENTRADA

2.1. CARACTERÍSTICAS DE LAS FUNDACIONES

Las cimentaciones propuestas son fundaciones superficiales circulares. Las mismas tienen un diámetro externo de 22,00 m; y el espesor de la fundación varía desde los 0,60 m en el diámetro exterior hasta los 2,40 m en el diámetro de los 5,40 m. Por encima de los 2,40 m la fundación tiene un pedestal de 0,60 m.

Las profundidades de excavación, dependen de la posición de cada base en el terreno.

El fondo de la excavación se realizará un hormigón de limpieza con un espesor de 0,10 m. Por encima de la fundación se colocará un relleno de suelo seleccionado con densidad apropiada, con una pendiente de 2% aproximadamente hacia la parte externa de la fundación.

La altura total de la Jaula de Pernos de Anclaje es 3,50 m. La misma se encuentra embebida dentro del núcleo de la fundación, salvo los últimos 30 cm, los cuales se encuentran en el exterior de esta con la finalidad de poder sujetar el T-Flange de la torre. La Jaula tiene un diámetro promedio de 4,13 m.

Tanto para la geometría de la fundación como para la jaula de perno referirse a los documentos

- CI-PL-0100 – Plano de Fundaciones – Detalles
- CI-PL-0101 – Plano de Notas de Fundaciones
- CI-PL-0102 – Plano de Detalles – Interfaz

La geometría general de las fundaciones se muestra en la siguiente figura.

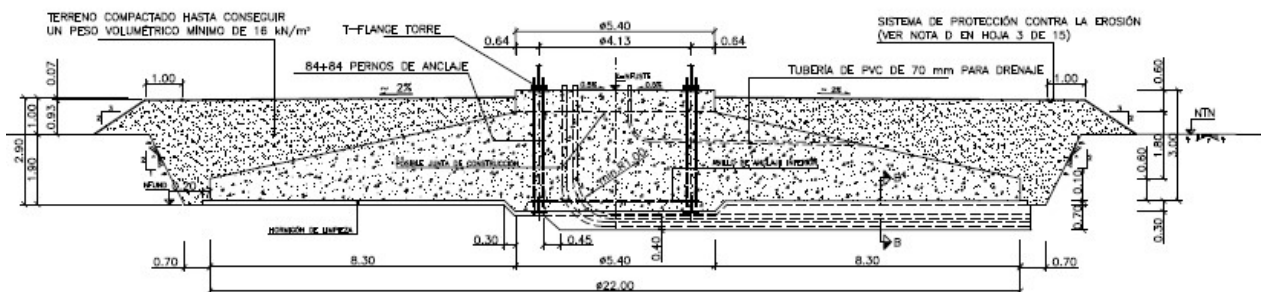


Figura N° 1 - Geometría de Fundaciones

Para proteger el relleno que se ubica por encima del nivel de terreno natural y para garantizar la estabilidad durante la vida útil de los WTG's, es indispensable llevar a cabo un mantenimiento de este relleno o aplicar diferentes sistemas de protección contra la erosión superficial. El sistema recomendado para este caso consiste en un sistema de confinamiento celular, por ejemplo, Cell TI Geosynthetics o similares. Dependiendo de los recursos disponibles y siempre bajo la aprobación del comitente, otras opciones pueden ser:

- La última capa de relleno que sea de suelo bien graduado con partículas de tamaño grueso, preferiblemente roca con mayor tamaño y peso.
- Diferentes tipos de siembra, tales como herbáceos o leñosos.

2.2. ANÁLISIS DE CARGAS

Se han considerado las siguientes cargas

- **Cargas permanentes**

| Pesos específicos | Valor | Unidad |
|-------------------|-------|----------|
| - Hormigón | 25.00 | kN/m^3 |
| - Relleno | 15.50 | kN/m^3 |
| - Agua | 10.00 | kN/m^3 |

Tabla N° 1 – Cargas permanentes en las fundaciones

- **Cargas en la base de la torre**

Las cargas de diseño válidas para los aerogeneradores han sido proporcionadas por el tecnólogo en el documento de referencia [12] y calculadas de acuerdo a la norma IEC 61400-1 según el sistema de coordenadas que se indica a continuación:

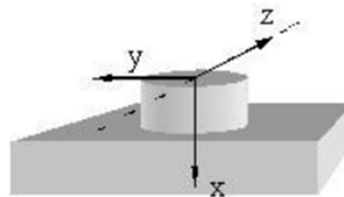


Figura N° 2 – Sistema de referencia de cargas

Según el documento de referencia [12] las cargas están dadas a la altura del fondo de la torre, la cual se encuentra a una altura de 0.745 m respecto del nivel del terreno natural. El esquema es el siguiente:

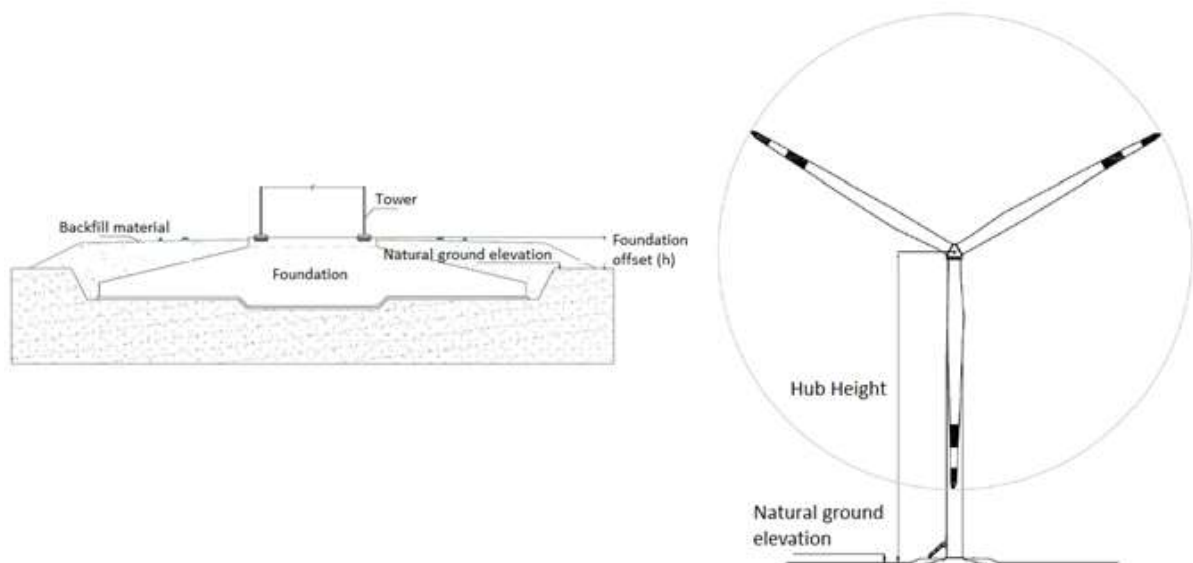


Figura N° 3 – Altura de aplicación de las cargas

Las cargas extremas anormales son las siguientes: (factores de mayoración no incluidos)

| LOAD CASE | Fx | Mx | Fr | Mr | γ [-] |
|-----------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| DLC 2.2 | 4446 | -4436 | 392 | 40397 | 1 |
| DLC 2.2 | 4206 | 4016 | 633 | 73228 | 1 |
| DLC 2.2 | 4249 | 2925 | 750 | 86245 | 1 |
| DLC 2.2 | 4365 | -7846 | 287 | 29945 | 1 |
| DLC 2.2 | 4271 | 2924 | 729 | 86360 | 1 |
| DLC 2.2 | 4210 | 4289 | 609 | 72738 | 1 |
| DLC 2.2 | 4249 | 2925 | 750 | 86245 | 1 |
| DLC 2.2 | 4238 | 1415 | 732 | 86850 | 1 |

Tabla Nº 2 - Cargas extremas anormales

Las cargas extremas normales son las siguientes: (factores de mayoración no incluidos)

| LOAD CASE | Fx | Mx | Fr | Mr | γ [-] |
|-----------|-------------|--------------|------------|--------------|--------------|
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| DLC 1.3 | 4435 | -2543 | 520 | 54641 | 1 |
| DLC 1.3 | 4435 | -2543 | 520 | 54641 | 1 |
| DLC 4.2 | 4326 | 407 | 673 | 72910 | 1 |
| DLC 1.3 | 4279 | -5389 | 191 | 22443 | 1 |
| DLC 4.2 | 4329 | 329 | 672 | 72947 | 1 |
| DLC 1.3 | 4435 | -2543 | 520 | 54641 | 1 |
| DLC 4.2 | 4326 | 407 | 673 | 72910 | 1 |
| DLC 4.2 | 4329 | 329 | 672 | 72947 | 1 |

Tabla Nº 3 - Cargas extremas normales

Cargas para evaluar despegue (cargas cuasi-permanentes):

| LOAD CASE | Fx | Mx | Fr | Mr | γ_F [-] |
|-----------|------|-------|------|-------|----------------|
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| DLC 1.1 | 4360 | 1118 | 541 | 59221 | 1 |

Tabla Nº 4 - Cargas cuasi-permanentes

Cargas para evaluar vuelco:

| LOAD CASE | Fx | Mx | Fr | Mr | γ_F [-] |
|-----------|------|-------|------|-------|----------------|
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| DLC 2.2 | 4238 | 1415 | 732 | 86850 | 1 |



Tabla Nº 5 - Cargas para evaluar vuelco

Cargas para evaluar deslizamiento

| LOAD CASE | Fx | Mx | Fr | Mr | γ_F [-] |
|-----------|------|-------|------|-------|----------------|
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| DLC 2.2 | 4347 | -7846 | 287 | 29945 | 1 |
| DLC 2.2 | 4249 | 2925 | 750 | 86245 | 1 |

Tabla Nº 6 - Cargas para evaluar deslizamiento

Cargas para evaluar capacidad de carga

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| LOAD CASE | Fx | Mx | Fr | Mr | γ_F [-] |
|-----------|--------|-------|-------|---------|----------------|
| | [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| DLC 4.2 | 5843,5 | 444,7 | 907,3 | 98478,1 | 1.35 |

Tabla Nº 7 - Cargas para evaluar capacidad de carga

Cargas para evaluar la tensión en los pernos

| Fx | Mx | Fr | Mr | γ_F [-] |
|------|-------|------|-------|----------------|
| [kN] | [kNm] | [kN] | [kNm] | |
| 4350 | -261 | 664 | 70500 | 1 |

Tabla Nº 8 - Cargas para evaluar tensión en los pernos

Cargas para evaluar fatiga: para mayor detalle, remitirse a la referencia [12]

2.3. MÉTODOS DE DISEÑO SEGÚN CIRSOC 201-2005

El apartado 8.1.1 del reglamento CIRSOC 201-2005 indica:

“8.1.1. En el diseño del hormigón estructural los elementos deben ser dimensionados para obtener una resistencia adecuada, de acuerdo con las disposiciones de este Reglamento, utilizando los factores de mayoración de carga y de reducción de resistencia \emptyset , especificados en el Capítulo 9”.

Por este motivo, en esta sección se analizarán las especificaciones reglamentarias en lo que respecta a los coeficientes de mayoración de cargas y de minoración de resistencia.

2.3.1. FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA

El Capítulo 9 del Reglamento CIRSOC 201-2005 indica:

“9.1. REQUISITOS GENERALES:

9.1.1. Las estructuras y los elementos estructurales se deben diseñar para obtener, en cualquier sección, una resistencia igual o mayor que la resistencia requerida, determinada para las cargas mayoradas combinadas en la forma establecida en este reglamento.



El requisito básico para el diseño por resistencia de estructuras de hormigón se puede expresar de la siguiente forma:

$$\text{Resistencia de Diseño} \geq \text{Resistencia Requerida}$$

$$\emptyset S_n \geq U "$$

En el artículo 9.3. se explica cómo se obtiene la “Resistencia de Diseño” en función de la resistencia nominal y de los factores de reducción \emptyset :

“La resistencia de diseño proporcionada por un elemento estructural, sus uniones con otros elementos, así como por sus secciones transversales, en términos de flexión, carga axial, corte y torsión, se debe calcular como la resistencia nominal obtenida de acuerdo con los requisitos y suposiciones de este reglamento, multiplicada por los factores de reducción de resistencia, establecidos en los artículos 9.3.2., 9.3.4., 9.3.5.”

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

De esta forma se penaliza la resistencia de la sección.

Los factores de seguridad parciales de reducción de resistencia de acuerdo con el reglamento CIRSOC 201-2005 son los siguientes:

| FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA | ϕ |
|--------------------------------------|--------|
| - Secciones controladas por tracción | 0.90 |
| - Compresión del hormigón | 0.65 |
| - Cortante | 0.75 |
| - Modelo de bielas y tirantes | 0.75 |

Tabla N° 9 - Factores de minoración de resistencia según CIRSOC 201-2005

2.3.2. FACTORES DE MAYORACIÓN DE CARGAS

Los factores de mayoración de cargas están definidos en el punto 9.2 del reglamento CIRSOC 201-2005. Pero estos factores de mayoración, así como las combinaciones pertinentes vienen relacionados con las cargas obtenidas a partir de este reglamento y de aquéllos a los que llama el mismo, como se expone a continuación en el punto “Cargas según CIRSOC 201-2005”.

2.3.2.1. CARGAS SEGÚN CIRSOC 201-2005

Los aerogeneradores son estructuras singulares, para las cuáles el tecnólogo da las cargas en base de torre para calcular la cimentación. Para ello, primero se analizan las cargas que se obtienen en base a este reglamento, así como los factores de mayoración de cargas pertinentes.

En el Capítulo 8.2. CARGAS del Reglamento CIRSOC 201-2005 indica:

“8.2.2. Las cargas de servicio se deben obtener de los Reglamentos CIRSOC específicos, al igual que los factores de reducción que sean aplicables.



8.2.3. En el diseño para cargas de viento, de acuerdo con el Reglamento CIRSOC 102-2005, las partes que integran la estructura se deben dimensionar para resistir las cargas laterales totales. Las estructuras sometidas a acciones sísmicas se deben diseñar de acuerdo con las prescripciones establecidas en el Reglamento INPRES-CIRSOC 103 Parte II-2005.”

Es decir, según el capítulo 8.2 del reglamento CIRSOC 201-2005 las cargas han de ser calculadas en base al Reglamento CIRSOC 102-2005 “Reglamento argentino de acción del viento sobre las construcciones”, por ello se acude al apartado 5.1 Campo de validez y 5.2 Limitaciones de dicho reglamento:

“5.1. CAMPO DE VALIDEZ

Un edificio u otra estructura cuya carga de diseño se determina de acuerdo con este capítulo debe reunir las siguientes condiciones:

- 1. El edificio u otra estructura es de forma regular, como se define en el Capítulo 2*

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

2. El edificio u otra estructura no posee características de respuesta que den lugar a cargas transversales de viento, desprendimientos de vórtices, inestabilidad debida a galope o flameo. Por su ubicación, tampoco deben merecer consideración especial los efectos de canalización o golpeteo en la estela debido a las obstrucciones a barlovento.”

“5.2. LIMITACIONES

Las disposiciones del Capítulo 5 tienen en cuenta el efecto de amplificación causado por ráfagas en resonancia con las vibraciones en dirección del viento de edificios u otras estructuras flexibles. Los edificios u otras estructuras que no reúnen los requisitos del artículo 5.1., o que tienen formas o características de respuesta inusuales, se deben diseñar recurriendo a bibliografía reconocida que documente tales efectos de la carga de viento, o bien se deben remitir al uso del túnel de viento especificado en el Capítulo 6.”

A modo de conclusión, este reglamento está destinado a edificios de formas regulares y que no estén sometidos a esfuerzos singulares como vibraciones, resonancia, etc. El aerogenerador es una estructura singular no contemplada en dicho reglamento, en este caso debe recurrirse a bibliografía reconocida como es la IEC 61400-1.

2.3.2.2. CARGAS SEGÚN IEC 61400-1

En función de las conclusiones del apartado anterior se deben emplear los factores de mayoración de cargas de la IEC61400-1. A continuación analizamos qué indica dicha norma respecto al diseño con los factores de mayoración de cargas y factores de reducción de resistencia.

El apartado 7.6 “Análisis del estado límite de rotura”, en la subsección 7.6.1.1 “Factores de seguridad parciales para cargas y materiales” indica:

“Para asegurar un diseño seguro, los valores para las incertidumbres y la variabilidad en las cargas y los materiales se tienen en cuenta mediante factores de seguridad parciales según se define en las ecuaciones (28) y (29).

$$F_d = \gamma_f F_k \quad (28)$$

F_d es el valor de diseño para la carga interna agregada o respuesta de la carga a las múltiples componentes simultáneas de carga de varias fuentes para el caso de la carga de diseño dada

γ_f es el factor de seguridad para las cargas

F_k es el valor característico para la carga.



$$f_d = (1/\gamma_m) \cdot f_k \quad (29)$$

f_d son los valores de diseño para los materiales

γ_m son los factores de seguridad parciales para los materiales

f_k son los valores característicos de las propiedades de los materiales”

“Estas incertidumbres diferentes son a veces estimadas por medio de los factores de seguridad parciales individuales, pero en esta norma como en muchas otras, los factores referidos a la carga se combinan en un factor γ_f y los factores relacionados con el material en un factor γ_m ”

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

Esta normativa aplica los factores de mayoración de cargas específicos para aerogeneradores y los factores de reducción de resistencia de los materiales.

El apartado 7.6.1.3 “Aplicación de códigos de materiales reconocidos” indica que permite aplicar normativas nacionales e internacionales para obtener los factores de seguridad referentes a los materiales, combinando el cálculo con los factores de mayoración de cargas de esta norma:

“Cuando se determina la integridad estructural de los elementos del aerogenerador, pueden emplearse los códigos de diseño nacionales e internacionales. Debe tenerse un cuidado especial cuando los factores de seguridad parciales de los códigos de diseño nacionales e internacionales se utilizan junto con los factores de seguridad parciales de esta norma. Debe asegurarse que el nivel de seguridad resultante no sea menor que el factor de seguridad previsto en esta norma.”

2.3.3. FACTORES DE ADOPTADOS

Como conclusión, se utilizará lo siguiente:

- a) Factores de mayoración de cargas de la IEC 61400-1 por ser una estructura singular
- b) Factores de reducción de resistencia del reglamento CIRSOC 201-2005.



De acuerdo con la referencia [12] , Se aplican los siguientes factores parciales para las diferentes componentes de cargas en ELU de acuerdo con la IEC.

| CARGAS EN LA TORRE | | Clasificación de los estados de carga de acuerdo con la IEC 61400-1 | | |
|-------------------------|----------------------|---|------|------|
| | | N | A | T |
| Gravitatorias e Inercia | <i>Desfavorables</i> | 1.35 | 1.10 | 1.25 |
| | <i>Favorables</i> | 0.90 | 0.90 | 0.90 |
| Aerodinámicas | | 1.35 | 1.10 | 1.50 |
| Térmicas | | 1.35 | - | - |
| Sísmicas | | - | 1.00 | - |

N: NORMAL LOADS; A: ABNORMAL LOADS; T: TRANSPORT AND ERECTION

Tabla N° 10 – Factores parciales de carga en ELU de acuerdo con IEC 61400-1 para las cargas de la torre

Los factores de seguridad parciales de reducción de resistencia de acuerdo con el reglamento CIRSOC 201-2005 son los siguientes:

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| FACTORES DE REDUCCIÓN DE RESISTENCIA | ϕ |
|--------------------------------------|--------|
| - Secciones controladas por tracción | 0.90 |
| - Compresión del hormigón | 0.65 |
| - Cortante | 0.75 |
| - Modelo de bielas y tirantes | 0.75 |

Tabla N° 11 - Factores de minoración de resistencia según CIRSOC 201-2005

2.4. MATERIALES

De acuerdo con el plano CI-PL-0100 los materiales de las fundaciones son los siguientes:

| MATERIAL | PESO ESP. [kN/m³] | DESIG. | RESIST. CARAC. f'_c [MPa] | RESISTENCIA A LA FLUENCIA f_y [MPa] | MÓDULOS ELASTICIDAD E [MPa] |
|-------------------------|----------------------|---------|-----------------------------------|---|-----------------------------------|
| - Hormigón de Fundación | 25.00 | H-35 | 35.00 | - | 31799 |
| - Hormigón de Pedestal | 25.00 | H-45 | 45.00 | - | 36057 |
| - Acero de Armaduras | 78.50 | ADN 420 | - | 420 | 200000 |

Tabla N° 12 – Características de los materiales

Los módulos de elasticidad del hormigón han sido calculados de acuerdo con la siguiente fórmula de la referencia [5] Art. 8.5.1:

$$E_c = w_c^{1.5} \cdot 0.043 \cdot \sqrt{f'_c} \text{ [MPa]}$$



w_c : Peso específico del hormigón

2.5. CARACTERÍSTICAS DEL SUELO

Con la finalidad de obtener datos del suelo del emplazamiento de la obra, se llevó a cabo una campaña geológica y geotécnica. En esta, se determinaron los horizontes de suelo en los 13 sitios en donde se ubicarán los aerogeneradores y se reconocieron las propiedades físicas y mecánicas del terreno que permiten definir las características geométricas y mecánicas de las cimentaciones. Para más información ver en **ANEXOS I y II**.

El terreno de las fundaciones del presente alcance deberá tener las siguientes características mínimas:

- Capacidad portante mínima del terreno: $q_{adm} = 1000 \text{ kPa}$
- Ángulo de fricción interno $\phi = 30^\circ$
- Módulo elástico estático mínimo: $E_s = 300 \text{ MPa}$

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

- Módulo elástico dinámico mínimo: $E_d = 900 \text{ MPa}$
- Coeficiente de Poisson: $\mu = 0.30$
- Densidad natural del suelo de relleno: $\gamma = 15,50 \text{ kN/m}^3$
- Coeficiente de balasto: $K_{30} = 24 \text{ kg/m}^3$
- Presencia de nivel freático: NO
- Zona sísmica: 0

3. MODELOS DE ELEMENTOS FINITOS

3.1. DESCRIPCIÓN GENERAL

Para conocer el comportamiento estructural de la fundación, así como también la interacción suelo estructura, se elaboraron modelos de elementos finitos en los programas SAP 2000 y PLAXIS 3D.

Con estos modelos se obtendrán presiones, desplazamientos, esfuerzos internos y se realizarán verificaciones de estabilidad.

Se realizarán comparaciones entre los resultados obtenidos de los diferentes modelos y se elaborarán conclusiones con relación a los métodos de análisis ejecutados.

A modo resumen, los modelos se aplicaron para las siguientes verificaciones:

| ANÁLISIS | | MODELOS EN SAP 2000 | | MODELO EN PLAXIS 3D |
|------------------------------|-------------------|---------------------|----------------------|---------------------|
| | | Resortes Lineales | Resortes No Lineales | |
| Presiones | | ■ | ■ | ■ |
| Desplazamientos | | ■ | ■ | ■ |
| Levantamiento de fundación | | ■ | ■ | |
| Dimensionamiento estructural | Armaduras flexión | ■ | | |
| | Armaduras corte | ■ | | |
| | Fisuración | ■ | | |
| | Fatiga | ■ | | |

Tabla N° 13 – Análisis en los MEF

3.2. MODELOS EN SAP 2000

La estructura de la fundación fue modelada con 793 nodos que forman parte de 793 elementos tipo Shell Thick de acuerdo con la geometría descrita anteriormente.

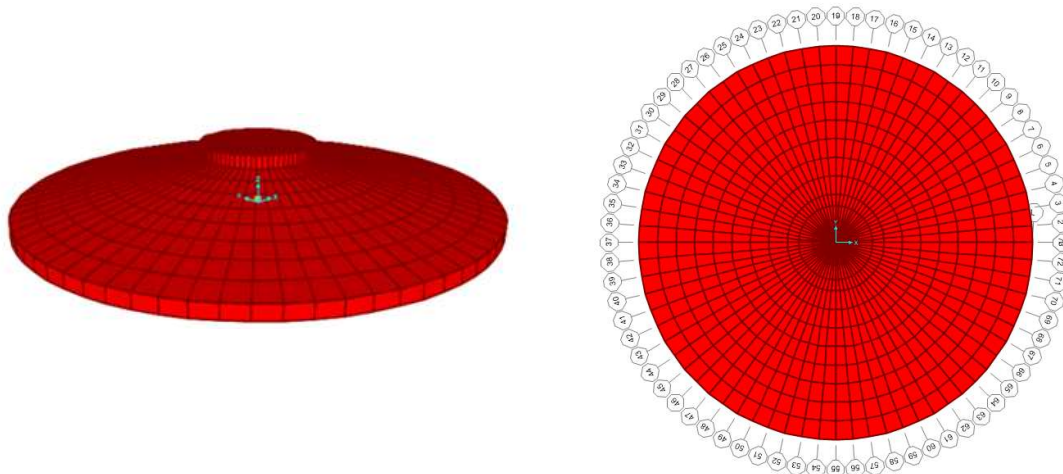


Figura N° 4 – Geometría modelo de elementos finitos

A continuación, se describen los puntos más relevantes del modelado:

3.2.1. SISTEMA DE EJES

El sistema de ejes locales está orientado de acuerdo con un sistema de referencia cilíndrico. En este sentido, la orientación de los ejes locales responde a:

Dirección 1: **Radial**

Dirección 2: **Circunferencial**

Dirección 3: **Vertical**

A continuación, se muestra una franja radial del modelo con sus ejes locales en cada elemento Shell y en cada nodo:

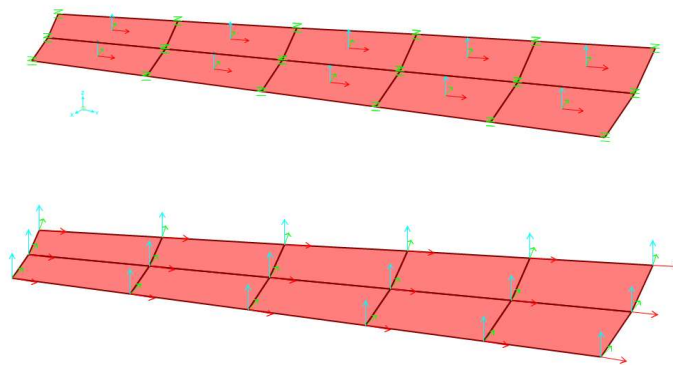


Figura N° 5 – Orientación de ejes locales

3.2.2. MATERIALES

El hormigón se ha modelado como un material elástico lineal con las características tomadas según el CIRSOC 201-2005. Los parámetros de los materiales son los siguientes:

- Hormigón H-30

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Peso específico | $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ |
| Resistencia característica | $f'c = 30,00 \text{ MPa}$ |
| Módulo de elasticidad | $E = 29440,09 \text{ MPa}$ |
| Módulo de corte | $G = 12666,70 \text{ MPa}$ |
| Coefficiente de Poisson | $\nu = 0,20$ |
| Coefficiente de Expansión Térmica | $\alpha = 9,90 \times 10^{-6}$ |

- Hormigón H-45

| | |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Peso específico | $\gamma = 25 \text{ kN/m}^3$ |
| Resistencia característica | $f'c = 45,00 \text{ MPa}$ |
| Módulo de elasticidad | $E = 36056,60 \text{ MPa}$ |
| Módulo de corte | $G = 12023,58 \text{ MPa}$ |
| Coefficiente de Poisson | $\nu = 0,20$ |
| Coefficiente de Expansión Térmica | $\alpha = 9,90 \times 10^{-6}$ |

3.2.3. CONDICIONES DE CONTORNO

Las condiciones de borde que se han aplicado al modelo para representar la acción del terreno y el relleno sobre la fundación se describen a continuación:

Para modelizar el contacto con el suelo, se aplicó el método del coeficiente de balasto o módulo de reacción. Estos resortes se modelaron de dos maneras:

- Resortes Lineales
- Resortes No Lineales



A) Resortes Lineales: En el programa se denominan resortes tipo "Simple - Compression Only". Estos resortes solamente trabajan en dirección vertical a compresión, si los estados de carga se transforman a no lineales.

El valor del módulo es $k = 38,135 \text{ MN/m}^3$. Para detalle de cálculo ver ANEXO I.

B) Resortes No Lineales: En el programa, los resortes no lineales se modelaron como "Multilinear Elastic". A cada radio de la fundación, se les asignó un resorte distinto. Estos resortes tienen asignadas sus curvas de respuesta Cargas vs. Desplazamiento.

Para obtener estas curvas de respuesta de los resortes se siguen los siguientes pasos:

| | | |
|--|-------------|----------------------|
| Módulo de elasticidad inicial (baja deformación) | $E_i =$ | 3000 MPa |
| Coefficiente de Poisson | $\nu =$ | 0,3 |
| Radio fundación | $a =$ | 11 m |
| Área total = | $A =$ | 95,03 m ² |
| Tensión admisible | $q_{adm} =$ | 1 MPa |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | | |
|---------------------------------------|--------------------|----------|
| Factor de seguridad | FS = | 3 |
| Capacidad de Carga | $q_u = \sigma_R =$ | 2,7 MPa |
| Coefficiente carga última | Rf = | 0,9 |
| Tensión última a deformación infinita | $\sigma_U =$ | 3,00 MPa |

| | | | | | | |
|---------------------------|-------------------------------|------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| Estado de Carga | L/C = | 1.2 | 1.3 | 1.4.1 | 1.4.2 | 1.4.3 |
| Ancho Efectivo | $B = b_{eff} =$ | 14,29 | 11,96 | 16,80 | 12,01 | 13,13 |
| Largo Efectivo | $L = l_{eff} =$ | 18,36 | 17,47 | 19,04 | 17,49 | 17,95 |
| Presión promedio aplicada | $p_{av} = \sigma_{med,eff} =$ | 0,086 | 0,107 | 0,070 | 0,107 | 0,095 |
| Relación largo / ancho | L/B = | 1,285 | 1,460 | 1,133 | 1,456 | 1,368 |
| Coefficiente | $\beta_z =$ | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 | 1,100 |
| Desplazamiento | $sz [m] =$ | 0,00038 | 0,00043 | 0,00035 | 0,00043 | 0,00040 |
| Módulo de balasto inicial | $k_i [MN/m^3] =$ | 223,87 | 250,84 | 202,71 | 250,19 | 236,23 |

Tabla N° 14 – Módulos de balastos iniciales según estados de carga

b_{eff} y l_{eff} [m]: son los anchos y largos efectivos del área rectangular sobre la cual se aplican las cargas verticales. Se obtienen según la referencia [8] DNV Apéndice G. Para más detalle ver en el punto 0 de la presente memoria.

$\sigma_{med,eff}$ [MPa] se obtiene de aplicar la carga vertical en el área equivalente $A_{eff} = b_{eff} \times l_{eff}$ a una excentricidad e_{tot} .

| E/C | Acciones | | | DNV | | | | | Tensiones |
|-------|----------|-----------|---------------|-----------------------------|-----------|-----------|---------------|---------------|---|
| | Fz (kN) | Mxy (kNm) | e_{tot} (m) | A_{eff} (m ²) | b_e (m) | l_e (m) | l_{eff} (m) | b_{eff} (m) | $\sigma_{med,eff}$ (kN/m ²) |
| 1.2 | 22506 | 60843 | 2,70 | 262,39 | 16,59 | 21,33 | 18,36 | 14,29 | 85,77 |
| 1.3 | 22385 | 89045 | 3,98 | 209,00 | 14,04 | 20,51 | 17,47 | 11,96 | 107,11 |
| 1.4.1 | 22493 | 30807 | 1,37 | 320,03 | 19,26 | 21,83 | 19,04 | 16,80 | 70,29 |
| 1.4.2 | 22396 | 88495 | 3,95 | 210,08 | 16,59 | 20,53 | 17,49 | 12,01 | 106,60 |
| 1.4.3 | 22475 | 74963 | 3,34 | 235,65 | 16,59 | 20,96 | 17,95 | 13,13 | 95,37 |

Tabla N° 15 – Parámetros geométricos de contacto según estados de carga

sz [m]: son los desplazamientos de la fundación asociados a las cargas aplicadas. Para evaluar esto, se aplicó la formulación de Poulos & Davis, Art. 7.4¹.

k_i [MN/m³]: Son los coeficientes de balasto iniciales, obtenidos como el cociente entre las presiones y los desplazamientos $\sigma_{med,eff} / sz$.

Para los cálculos se adopta el valor promedio de estos, que resulta

$$k_i = 232,77 \text{ MN/m}^3$$

Con este valor, se grafican las presiones en función de los desplazamientos según las formulaciones del Ing. Leoni² punto 2.10.

¹ Poulos, H.G. - Davis, E.H., (1991), *Elastic Solutions for Soil and Rock Mechanics*, Centre for Geotechnical Research – University of Sydney.

² Leoni, Augusto J., Apunte: *Parametrización de Suelos* – Universidad Nacional de La Plata.

La ecuación hiperbólica de las presiones que se graficará es la siguiente:

$$\sigma = \frac{1}{\left[\frac{1}{\delta k_i} + \frac{R_f}{\sigma_R} \right]}$$

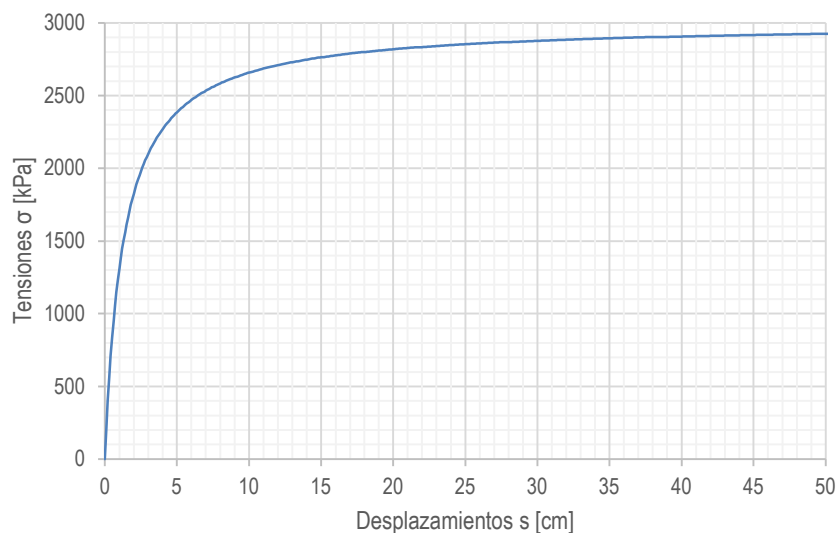


Figura N° 6 – Gráfico Desplazamiento-Tensión

Como se observa en la figura anterior, el gráfico desplazamiento-tensión muestra una asíntota en los 3000 kPa, que es la tensión última a deformación infinita.

Esta gráfica, se rectificará por tramos, resultando:

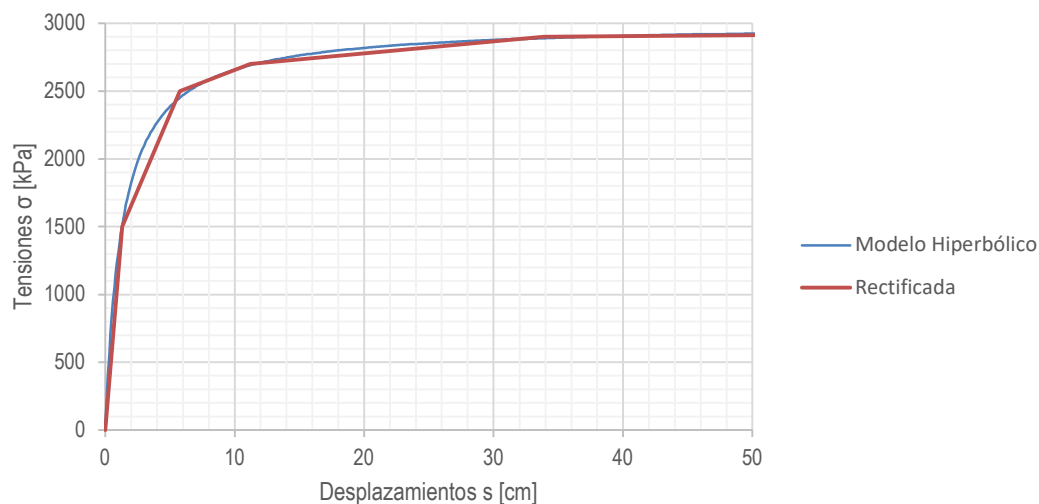


Figura N° 7 – Gráfico Desplazamiento-Tensión Rectificado



Luego, afectando estas tensiones a sus respectivas áreas de influencia en los diferentes radios de la fundación, podemos graficar las curvas de respuesta de los resortes Multilinear Elastic, que fueron cargadas al programa SAP 2000. Los carteles indican los radios a los que pertenecen cada una de las curvas de respuesta.

CURVA DE RESPUESTA RESORTES NO LINEALES
Carga vs. Desplazamiento

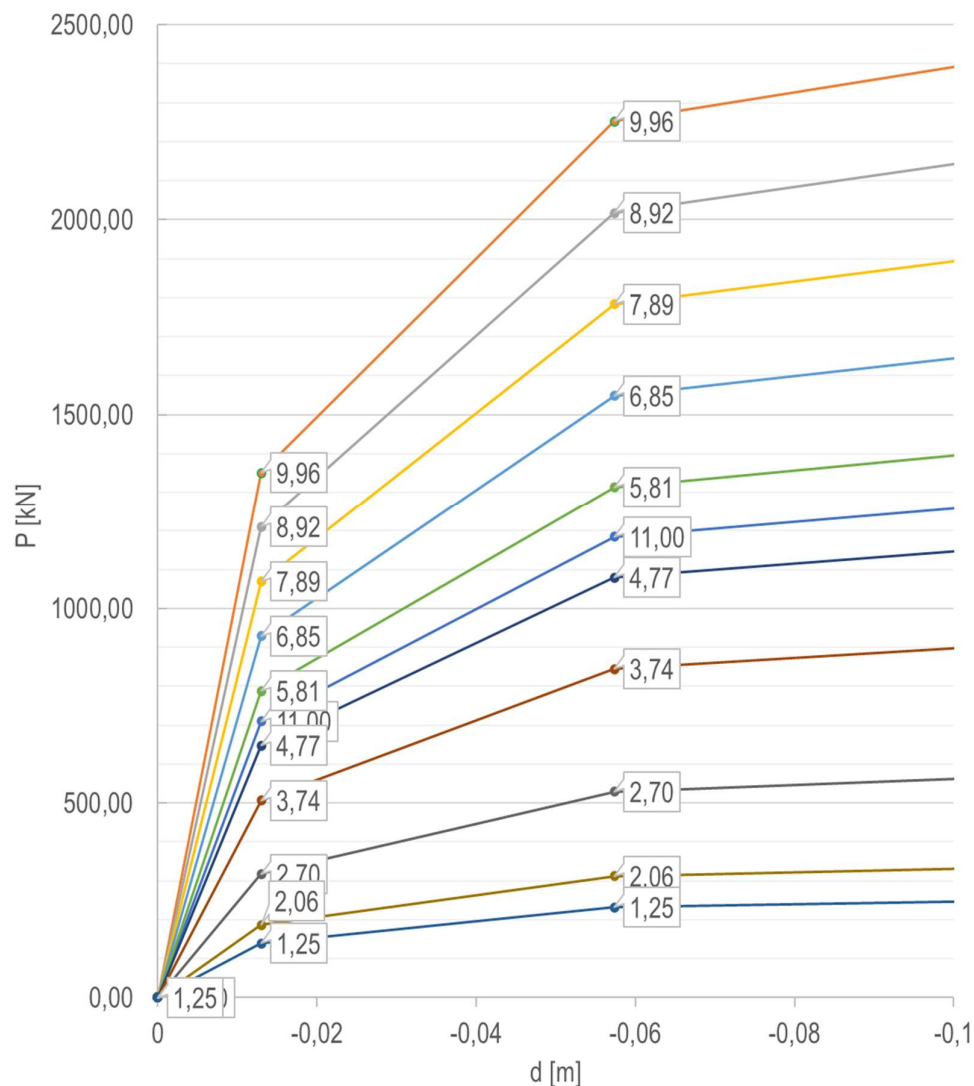




Figura N° 8 – Curva de Respuesta Resortes No Lineales

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

3.2.4. APLICACIÓN DE CARGAS

A) Casos de aplicación de cargas

Al ser una fundación circular, el caso paralelo y el diagonal son iguales. Por este motivo solo se tendrá en cuenta uno de ellos para los cálculos puesto que uno y otro arrojan los mismos resultados.

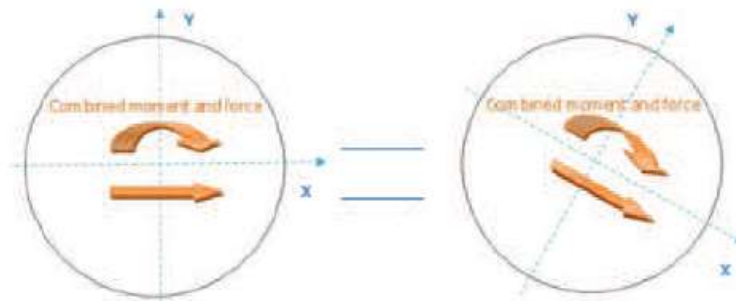


Figura N° 9 – Casos de cargas paralelo (imagen izda.) y diagonal (imagen dcha.)

B) Peso propio de la fundación

El peso propio de la cimentación es aplicado por el programa automáticamente de acuerdo con la definición de los materiales. En este caso, el peso propio del hormigón quedó definido como 25 kN/m³

C) Peso del relleno sobre la fundación

La aplicación del peso del relleno depende del caso en análisis:

- Para el análisis de estabilidad**, se consideró la mitad del peso total del suelo de relleno, Esta carga se aplica superficial y uniformemente distribuida. La razón por la cual se adopta este criterio es debido a la erosión que sufre este relleno estructural durante la vida útil del aerogenerador. De esta forma, el cálculo queda del lado de seguridad.
- Para el cálculo de la armadura superior** de la losa, se consideró la totalidad del peso del suelo teniendo en cuenta la variación del espesor de este; lo que resulta en cargas variables a lo largo de la parte superior de la losa. El peso del suelo resulta desfavorable para las armaduras superiores ante las acciones externas
- Para el cálculo de la armadura inferior** de la losa, no se consideró el aporte de la carga del suelo estructural, ya que este resulta favorable para el cálculo de las armaduras inferiores ante las acciones externas.

D) Aplicación de cargas externas Los estados de cargas externos se introdujeron en el modelo como cargas nodales equivalentes que varían alrededor del perímetro de la jaula de pernos. Ésta variación responde a la siguiente fórmula vectorial:

Fuerzas verticales debidas al momento flector M_{yz} y F_x :

$$F_{xi} = \left[\left(\frac{4 \cdot M_{yz} \cdot \sin \alpha}{\pi \cdot \phi^2} \right) + \left(\frac{F_x}{\pi \cdot \phi} \right) \right] \cdot s \quad [\text{kN}]$$

Estas cargas se aplican en la dirección de los ejes globales.

Fuerzas horizontales debidas a las cargas F_{yz} :

$$F_{yzi} = \left(\frac{F_{yz}}{\pi \cdot \phi} \right) \cdot s \quad [\text{kN}]$$

Estas cargas se aplican en la dirección de los ejes globales.

Fuerzas horizontales debidas al momento torsor M_x :

$$T_i = \frac{2 \cdot M_x}{36 \cdot \phi} \quad [\text{kN}]$$

Estas cargas horizontales se aplican en la dirección de los ejes locales de los nodos.

En la siguiente imagen se muestra el fuste en donde se encuentran aplicadas las cargas en el anillo de fundación:

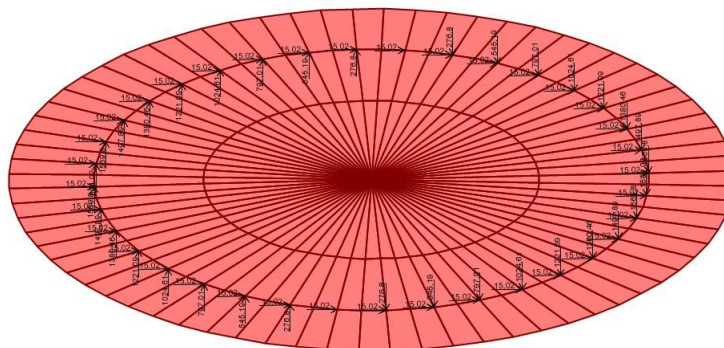


Figura Nº 10 – Aplicación de las cargas externas sobre el fuste

- F_{xi} : Cargas Verticales en el i -ésimo nodo (s/eje global)
- F_{yzi} : Cargas horizontales aplicadas en el i -ésimo nodo (s/eje global)
- T_i : Cargas horizontales debidas al momento torsor en el i -ésimo nodo. (s/ eje local)
- M_{yz} : Momento resultante en el plano yz
- F_{yz} : Fuerza horizontal resultante en el plano yz
- M_x : Momento torsor aplicado en la dirección x
- F_x : Cargas verticales
- Φ : Diámetro de la jaula de pernos
- s : Separación entre pernos

3.3. MODELO EN PLAXIS

Con el objetivo de ampliar el análisis de la interacción suelo estructura se elaboró un modelo tridimensional de elementos finitos en el software PLAXIS 3D, el cual tiene como finalidad obtener las presiones y desplazamientos provocados por las cargas aplicadas al mismo.

Para lograrlo se modelaron todas las capas del suelo con los parámetros que se obtuvieron del estudio de suelo, capa por capa.

A continuación, se muestra un esquema del modelo 3D en donde cada color representa un material diferente. La fundación se muestra en color verde.

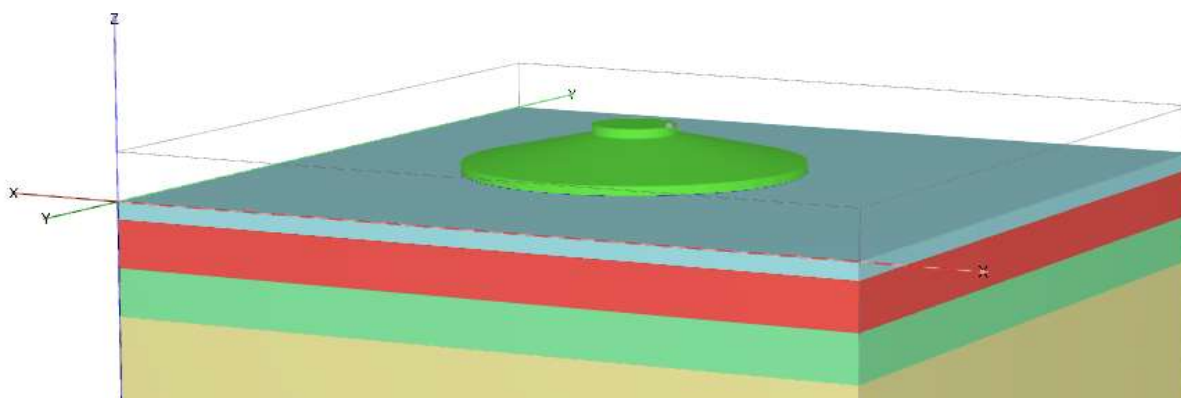


Figura N° 11 - Esquema del modelo – PLAXIS 3D

3.3.1. DEFINICIÓN DE ESTRATIGRAFÍA



La estratigrafía adoptada fue en la cual se encontraba la situación más desfavorable en el estudio de suelos. En la primera capa se tiene un limo castaño de poco espesor y luego se encuentra roca alterada en diferentes grados.

Para el modelo, al limo castaño se le asignó un comportamiento de tipo elastoplástico sin endurecimiento con criterio de rotura Mohr-Coulomb, mientras que a las rocas alteradas se les asignó un comportamiento elástico lineal.

En la siguiente tabla se resumen los datos de entrada del suelo que definirán la estratigrafía:

| # | Layers Material | Borehole_1 | |
|---|---------------------------|------------|--------|
| | | Top | Bottom |
| 1 | MS (Limo Arenoso Castaño) | 0,000 | -1,100 |
| 2 | Roca Granítica Alterada 1 | -1,100 | -4,100 |
| 3 | Roca Granítica Alterada 2 | -4,100 | -7,100 |
| 4 | Roca Granítica Alterada 3 | -7,100 | -50,00 |

Tabla N° 16 – Definición del Pozo de Exploración – PLAXIS 3D

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |


| Material set | | |
|-------------------|-------------------|---|
| Identification | | MS (Limo Arenoso Castaño) |
| Material model | | Mohr-Coulomb |
| Drainage type | | Drained |
| Colour | |  RGB 161, 226, 232 |
| Comments | | |
| Stiffness | | |
| E' | kN/m ² | 25,00E3 |
| v' (nu) | | 0,3500 |
| Alternatives | | |
| G | kN/m ² | 9259 |
| E _{oed} | kN/m ² | 40,12E3 |
| Strength | | |
| c' _{ref} | kN/m ² | 8,000 |
| φ' (phi) | ° | 27,00 |
| ψ (psi) | ° | 0,000 |

Tabla N° 17 – Definición del material MS – PLAXIS 3D


| Material set | | |
|------------------|-------------------|---|
| Identification | | Roca Granítica Alterada 1 |
| Material model | | Linear elastic |
| Drainage type | | Drained |
| Colour | |  RGB 244, 88, 82 |
| Comments | | |
| Stiffness | | |
| E' | kN/m ² | 395,6E3 |
| v' (nu) | | 0,3500 |
| Alternatives | | |
| G | kN/m ² | 146,5E3 |
| E _{oed} | kN/m ² | 635,0E3 |

Tabla N° 18 – Definición del material Roca Granítica Alterada 1 – PLAXIS 3D


| Material set | | |
|------------------|-------------------|---|
| Identification | | Roca Granítica Alterada 2 |
| Material model | | Linear elastic |
| Drainage type | | Drained |
| Colour | |  RGB 134, 234, 162 |
| Comments | | |
| Stiffness | | |
| E' | kN/m ² | 223,6E3 |
| v' (nu) | | 0,3300 |
| Alternatives | | |
| G | kN/m ² | 84,08E3 |
| E _{oed} | kN/m ² | 331,4E3 |

Tabla N° 19 – Definición del material Roca Granítica Alterada 2 – PLAXIS 3D


| Material set | | |
|------------------|-------------------|---|
| Identification | | Roca Granítica Alterada 3 |
| Material model | | Linear elastic |
| Drainage type | | Drained |
| Colour | |  RGB 236, 232, 156 |
| Comments | | |
| Stiffness | | |
| E' | kN/m ² | 2,598E6 |
| v' (nu) | | 0,2700 |
| Alternatives | | |
| G | kN/m ² | 1,023E6 |
| E _{oed} | kN/m ² | 3,246E6 |

Tabla N° 20 – Definición del material Roca Granítica Alterada 3 – PLAXIS 3D

3.3.2. MATERIALES

El hormigón H-35 de la fundación se modeló como elástico lineal con las siguientes propiedades:

| Material set | | |
|--------------------|-------------------|--|
| Identification | | H-35 |
| Material model | | Linear elastic |
| Drainage type | | Drained |
| Colour | | RGB 102, 238, 68 |
| Comments | | |
| General properties | | |
| Y_{unsat} | kN/m ³ | 25,00 |
| Y_{sat} | kN/m ³ | 25,00 |
| Stiffness | | |
| E' | kN/m ² | 31,80E6 |
| ν' (nu) | | 0,2000 |
| Alternatives | | |
| G | kN/m ² | 13,25E6 |
| E_{oed} | kN/m ² | 35,33E6 |

Tabla Nº 21 – Definición del material hormigón en PLAXIS 3D

3.3.3. SISTEMA DE EJES

El sistema de ejes del modelo se encuentra orientado según los ejes globales x, y y z del programa, los cuales se muestran en la siguiente imagen:

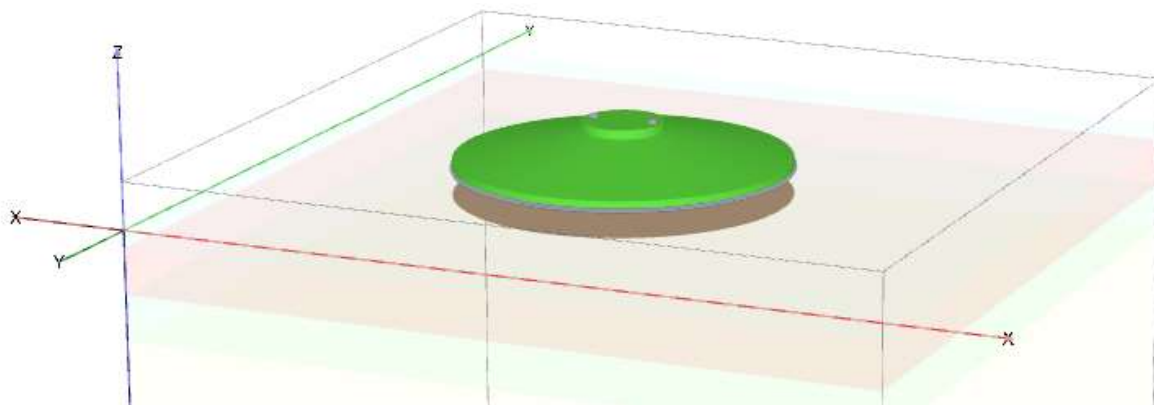


Figura Nº 12 - Sistema de ejes coordenados – PLAXIS 3D

3.3.4. CONDICIONES DE CONTORNO

Las restricciones globales que se le imponen al modelo son aplicadas automáticamente por el programa. No es necesario colocar ninguna restricción particular para el tipo de análisis que se pretende realizar.

En cuanto a la interacción suelo-estructura, esta dependerá por un lado de las propiedades de los materiales de la fundación y de las diferentes capas de suelo que componen el modelo, y por otro de las cargas aplicadas al mismo.

3.3.5. APLICACIÓN DE CARGAS

A) Casos de aplicación de cargas

Al ser una fundación circular, el caso paralelo y el diagonal son iguales. Por este motivo solo se tendrá en cuenta uno de ellos para los cálculos puesto que uno y otro arrojan los mismos resultados.

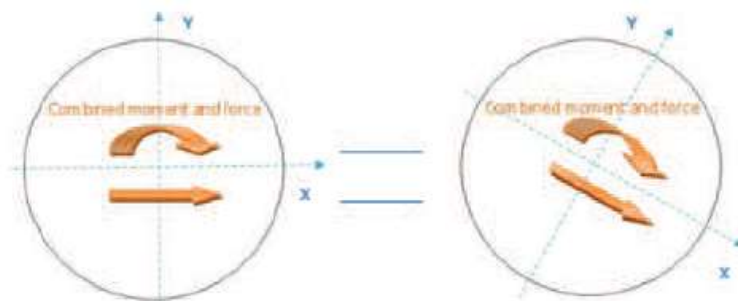


Figura N° 13 – Casos de cargas paralelo (imagen izda.) y diagonal (imagen dcha.)

B) Aplicación de cargas externas

Como la única finalidad de este modelo es comparar presiones y desplazamientos respecto a los modelos realizados con SAP 2000, las cargas se aplicaron en 2 puntos diametralmente opuestos del fuste coincidentes con el diámetro de la jaula de pernos, con una cupla de fuerzas equivalente a las cargas mencionadas en los puntos anteriores.

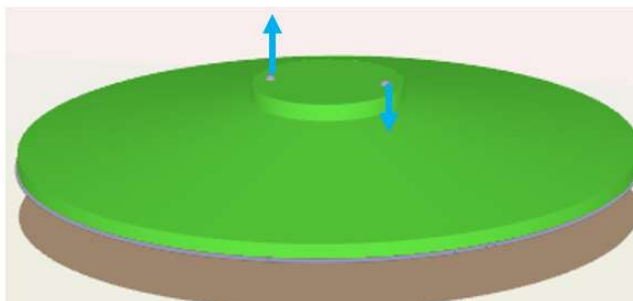


Figura N° 14 – Aplicación de cargas en modelo – PLAXIS 3D

C) Peso propio de la fundación y del suelo

Estos pesos son aplicados automáticamente por el programa de acuerdo con los parámetros asignados a las diferentes capas de suelo y materiales.

D) Peso del relleno sobre la fundación

En este modelo no se tuvo en cuenta el peso del suelo de relleno para poder simplificar el mismo. Para poder comparar presiones y desplazamientos, se eliminó este peso en los modelos de SAP 2000. De esta manera es posible comparar adecuadamente los 3 modelos de cálculo.

3.3.6. FASES DE ANÁLISIS

Para que el programa pueda calcular se generaron tres diferentes fases de análisis, relacionadas entre sí.

La fase cero o “**Initial phase**”, denominada inicial, hará que se tengan en cuenta las presiones geostáticas de las distintas capas de suelo y materiales, sin tener en cuenta las cargas exteriores. El tipo de cálculo usado es el denominado “ K_0 procedure”.

La primera fase o “**Phase_1**”, parte de la primera, y corresponde a la activación del elemento de fundación de hormigón, aplicándose su peso propio. El tipo de cálculo es “Plastic”.

La segunda fase o “**Phase_2**”, parte de la “Phase_1”, y tiene en cuenta las cargas exteriores. El tipo de cálculo es “Plastic”.

3.3.7. MALLADO

El mallado se realizó de forma automática por el programa, habiendo creado previamente todos los elementos del modelo y habiendo definido todas las fases de análisis.

Para que el programa pueda realizar dicha acción, se le solicita que realice una malla de tamaño medio con los siguientes parámetros:

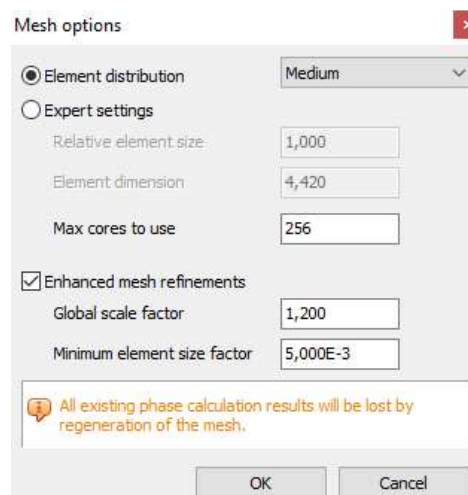


Figura N° 15 – Parámetros para el mallado – PLAXIS 3D

Habiendo definido estos parámetros, el mallado automático resulta en 23126 nodos. A continuación, se muestra la imagen del mismo. En este se observa mayor densificación en la zona de la fundación.

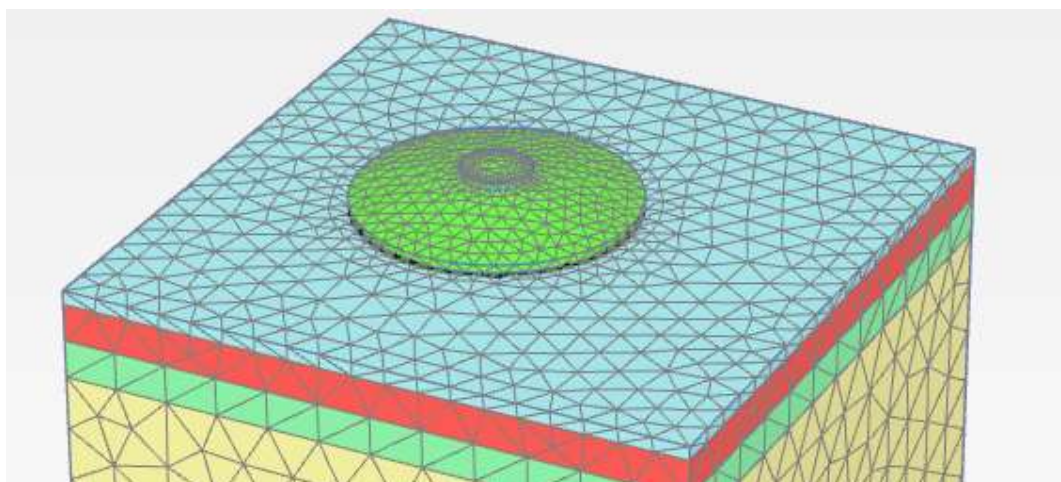


Figura N° 16 – Mallado resultante – PLAXIS 3D

4. VERIFICACIONES DE ESTABILIDAD Y EN SERVICIO

Estas verificaciones se realizarán para los estados de cargas expuestos en la tabla que se muestra a continuación:

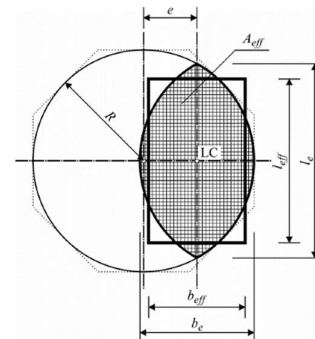
| CÁLCULO DE CARGAS | | | | Cargas en la base de la torre (a 0,745m del TN) | | | | | |
|-------------------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|---|-----------|-------------|-------------|---------------|-------|
| E/C | Descripción | Verificaciones relacionadas | γ vert | γ horiz | Fx (vert) | Fyz (horiz) | Mx (torsor) | Myz (flector) | |
| | | | | | (kN) | (kN) | (kNm) | (kNm) | |
| OPER | 1.2 | cuasi-permanentes (prob. exceso 1%) | NO DESPEGUE / TENSIONES SUELO | 1 | 1 | 4360 | 541 | 1118 | 59221 |
| EXTR | 1.3 | Extreme loads | VUELCO/TENSIONES | 1 | 1 | 4238 | 732 | 1415 | 86850 |
| EXTR | 1.4.1 | Extreme loads | DESLIZAMIENTO | 1 | 1 | 4347 | 287 | -7846 | 29945 |
| EXTR | 1.4.2 | Extreme loads | DESLIZAMIENTO | 1 | 1 | 4249 | 750 | 2925 | 86245 |
| EXTR | 1.4.3 | Extreme loads | CAP. DE CARGA (*) | 1 | 1 | 4328 | 672 | 329 | 72947 |
| CÁLCULO DE CARGAS | | | | Cargas a nivel de suelo | | | | | |
| E/C | Descripción | Verificaciones relacionadas | γ vert | γ horiz | Fx (vert) | Fyz (horiz) | Mx (torsor) | Myz (flector) | |
| | | | | | (kN) | (kN) | (kNm) | (kNm) | |
| OPER | 1.2 | cuasi-permanentes (prob. exceso 1%) | NO DESPEGUE / TENSIONES SUELO | 1 | 1 | 22506 | 541 | 1118 | 60843 |
| EXTR | 1.3 | Extremas | VUELCO/TENSIONES | 1 | 1 | 22385 | 732 | 1415 | 89045 |
| EXTR | 1.4.1 | Extremas | DESLIZAMIENTO | 1 | 1 | 22493 | 287 | -7846 | 30807 |
| EXTR | 1.4.2 | Extremas | DESLIZAMIENTO | 1 | 1 | 22396 | 750 | 2925 | 88495 |
| EXTR | 1.4.3 | Extremas | CAP. CARGA (*) | 1 | 1 | 22475 | 672 | 329 | 74963 |

(*) – La capacidad de carga será evaluada con cargas en servicio (ALS). Como se dieron cargas en estado último (LRFD), a éstas se las divide por sus factores de mayoración correspondientes $\gamma = 1,35$.

Tabla N° 22 – Cargas para las verificaciones de estabilidad y de servicio

Para los estados de la tabla anterior, las propiedades de las áreas efectivas según la DNV Apéndice G [8] son las siguientes:

| | Quasi-Estáticas | Extrema | Extrema | Extrema | Extrema |
|-------------|-----------------|---------|---------|---------|---------|
| E/C= | 1.2 | 1.3 | 1.4.1 | 1.4.2 | 1.4.3 |
| R (m) = | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 | 11,00 |
| e (m) = | 2,70 | 3,98 | 1,37 | 3,95 | 3,34 |
| be (m) = | 16,59 | 14,04 | 19,26 | 14,10 | 15,33 |
| le (m) = | 21,33 | 20,51 | 21,83 | 20,53 | 20,96 |
| Aeff (m²) = | 262,39 | 209,00 | 320,03 | 210,08 | 235,65 |
| leff (m) = | 18,36 | 17,47 | 19,04 | 17,49 | 17,95 |
| beff (m) = | 14,29 | 11,96 | 16,80 | 12,01 | 13,13 |



$$l_e = 2R \sqrt{1 - \left(1 - \frac{b_e}{2R}\right)^2} \quad A_{eff} = 2 \left[R^2 \arccos\left(\frac{e}{R}\right) - e \sqrt{R^2 - e^2} \right]$$

$$b_e = 2(R - e) \quad l_{eff} = \sqrt{A_{eff} \frac{l_e}{b_e}} \quad \text{and} \quad b_{eff} = \frac{l_{eff}}{l_e} b_e$$

Tabla N° 23 - Propiedades de la sección efectiva

4.1. ANÁLISIS DE PRESIONES SOBRE EL SUELO

En este punto, se compararán las presiones y desplazamientos para los diferentes modelos de elementos finitos y para los estados de cargas 1.2, 1.3, 1.4.1, 1.4.2, 1.4.3. No se tendrá en cuenta el suelo de relleno.

Luego se elaborarán conclusiones que resultan de tales comparaciones en relación con la forma más apropiada para modelar este tipo de fundaciones en elementos finitos.

4.1.1. PRESIONES E/C 1.2

A) **Modelo de Resortes Lineales:** el diagrama de presiones es el siguiente:

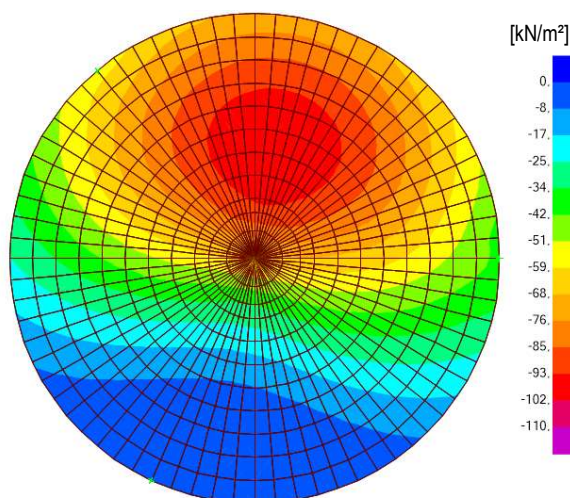


Figura N° 17 – Diagrama de presiones para el estado E/C 1.2 – Resortes Lineales

B) Modelo de Resortes No-Lineales: el diagrama de presiones es el siguiente:

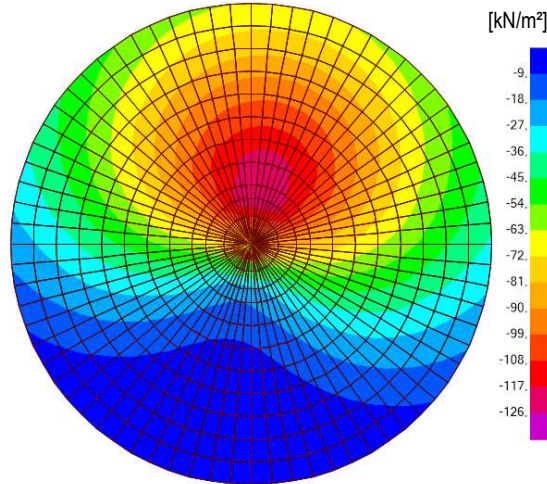


Figura N° 18 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.2 – Resortes No Lineales

C) Modelo en PLAXIS 3D: el diagrama de presiones es el siguiente:

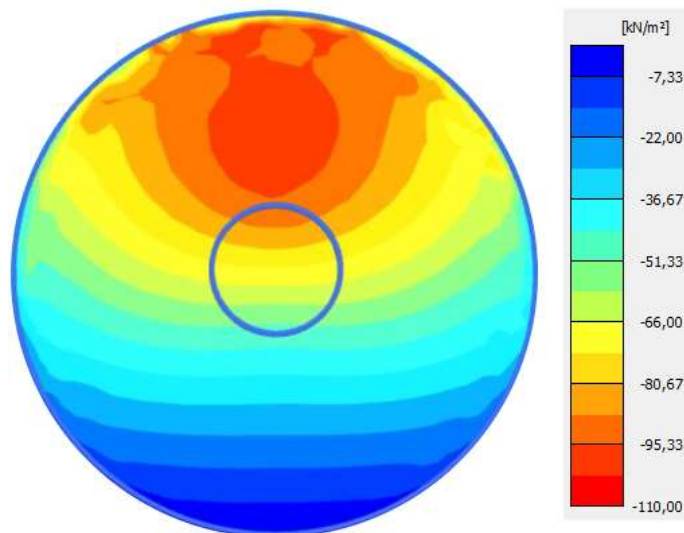


Figura N° 19 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.2 – Modelo Plaxis

D) Comparativa de presiones y desplazamientos

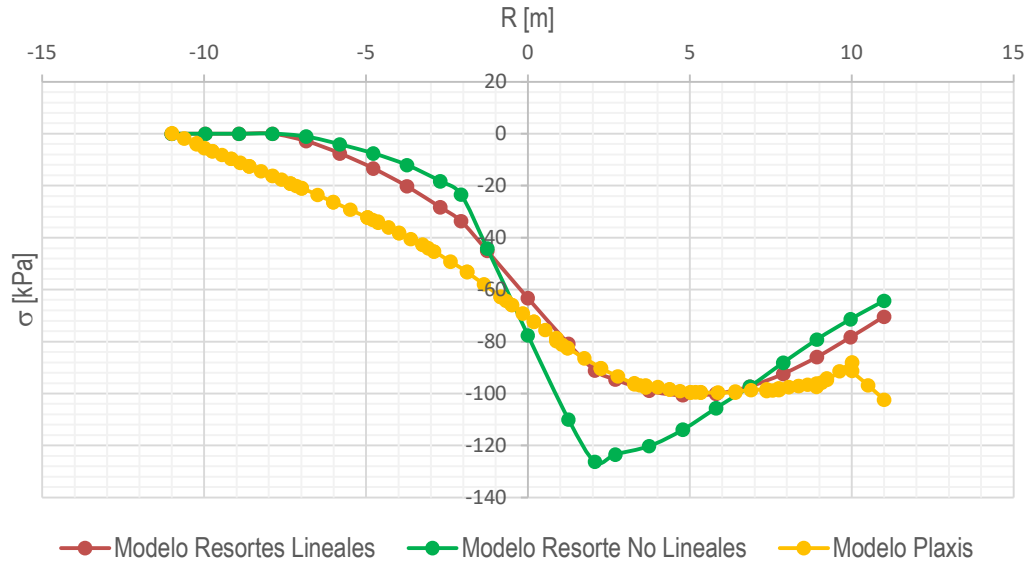


Figura N° 20 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.2

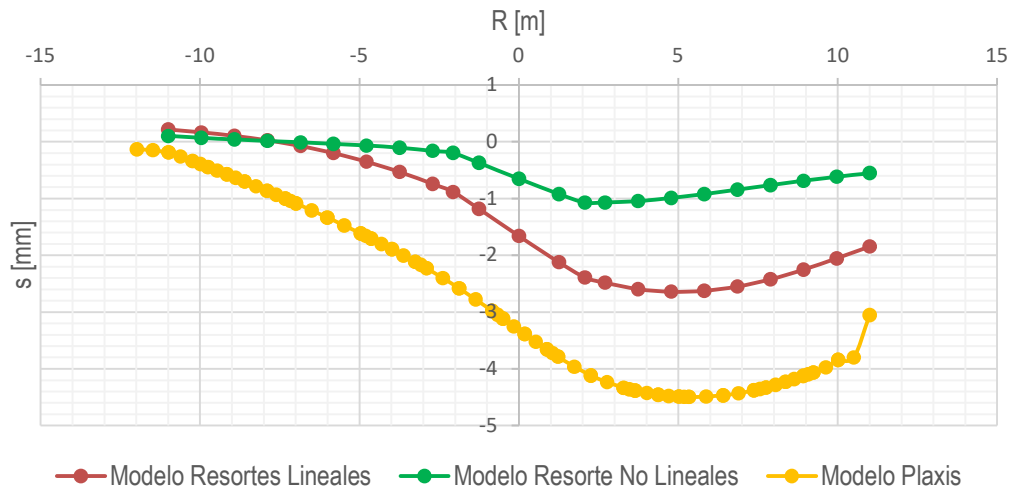


Figura N° 21 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.2

4.1.2. PRESIONES E/C 1.3

A) **Modelo de Resortes Lineales:** el diagrama de presiones es el siguiente:

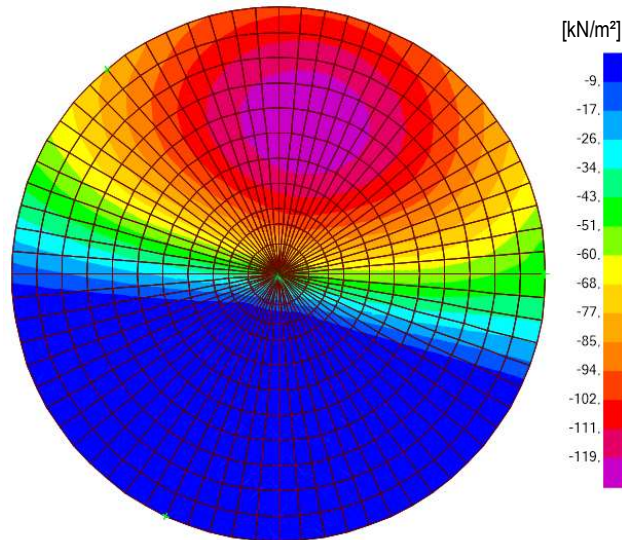


Figura N° 22 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.3 – Resortes Lineales

B) **Modelo de Resortes No-Lineales:** el diagrama de presiones es el siguiente:

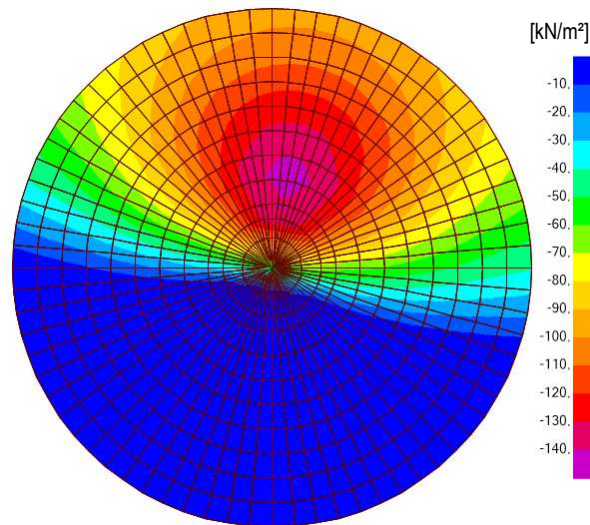


Figura N° 23 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.3 – Resortes No Lineales

C) Modelo en PLAXIS 3D: el diagrama de presiones es el siguiente:

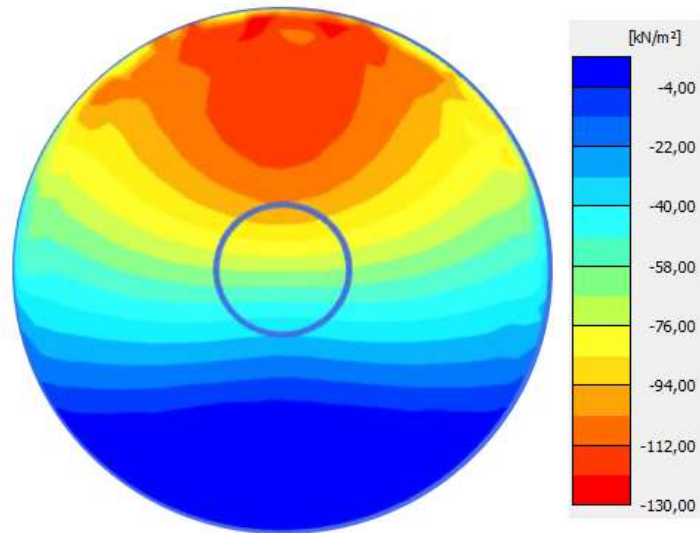


Figura N° 24 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.3 – Modelo Plaxis

D) Comparativa de presiones y desplazamientos

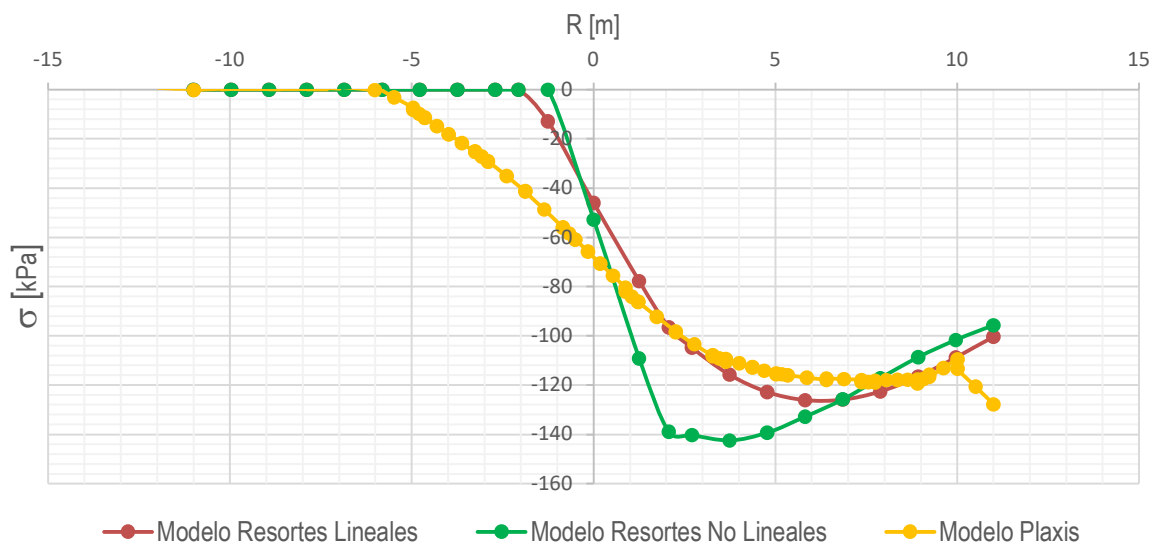


Figura N° 25 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.3

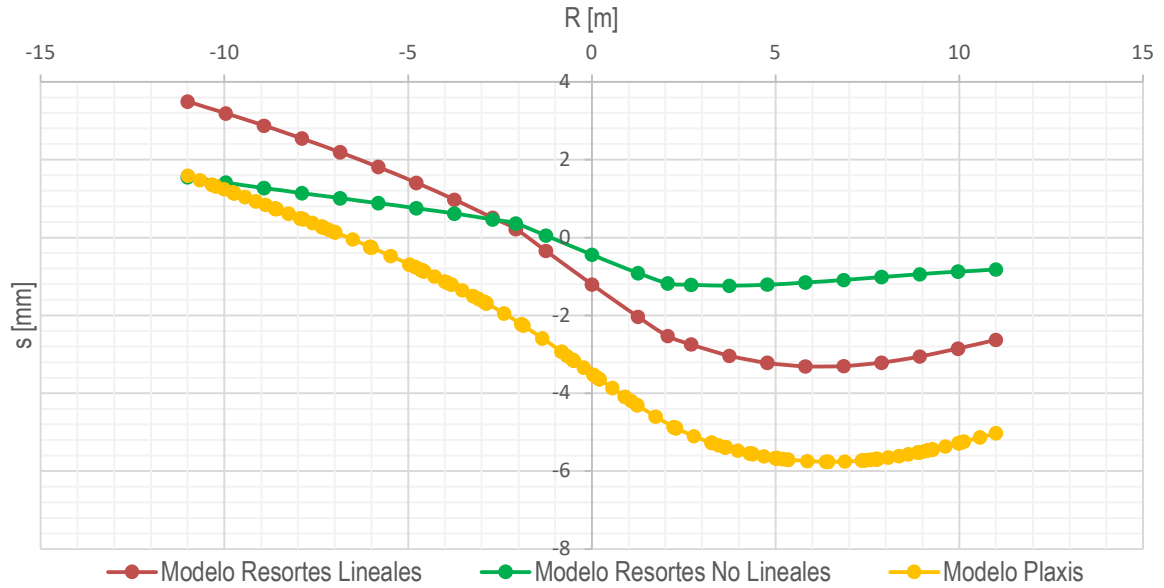


Figura N° 26 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.3

4.1.3. PRESIONES E/C 1.4.1

A) **Modelo de Resortes Lineales:** el diagrama de presiones es el siguiente:

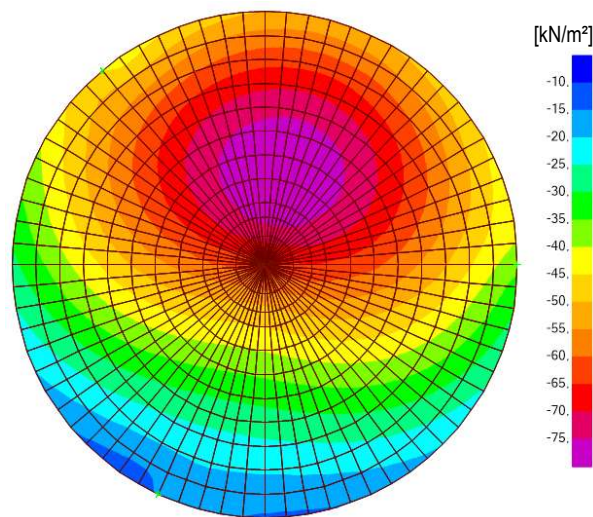


Figura N° 27 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.1 – Resortes Lineales

B) Modelo de Resortes No-Lineales: el diagrama de presiones es el siguiente:

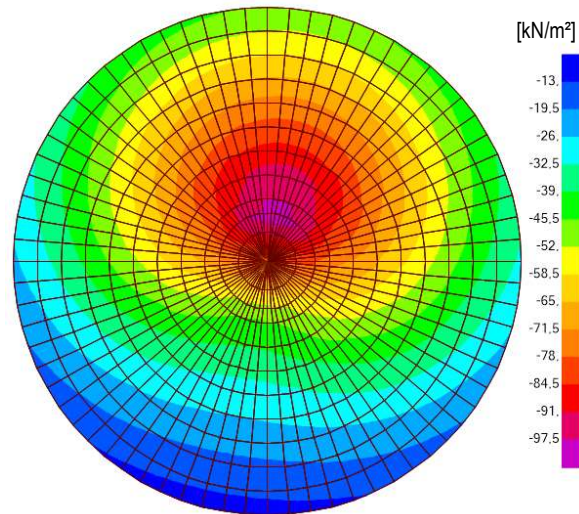


Figura N° 28 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.1 – Resortes No Lineales

C) Modelo en PLAXIS 3D: el diagrama de presiones es el siguiente:

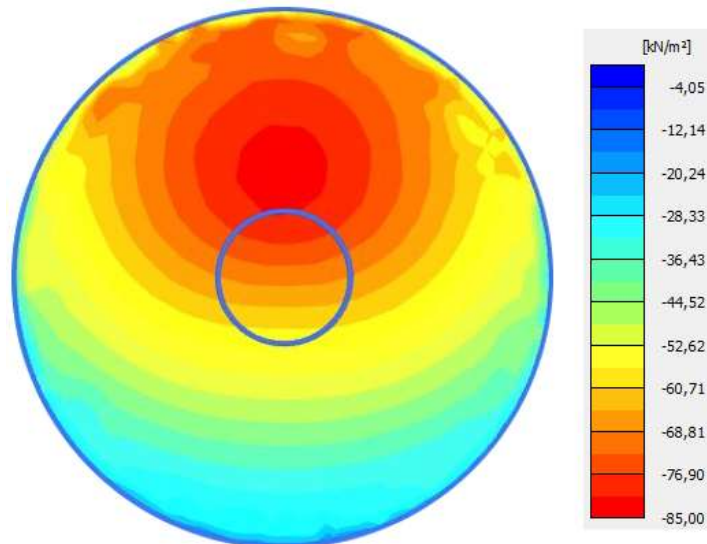


Figura N° 29 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.1 – Modelo Plaxis

D) Comparativa de presiones y desplazamientos

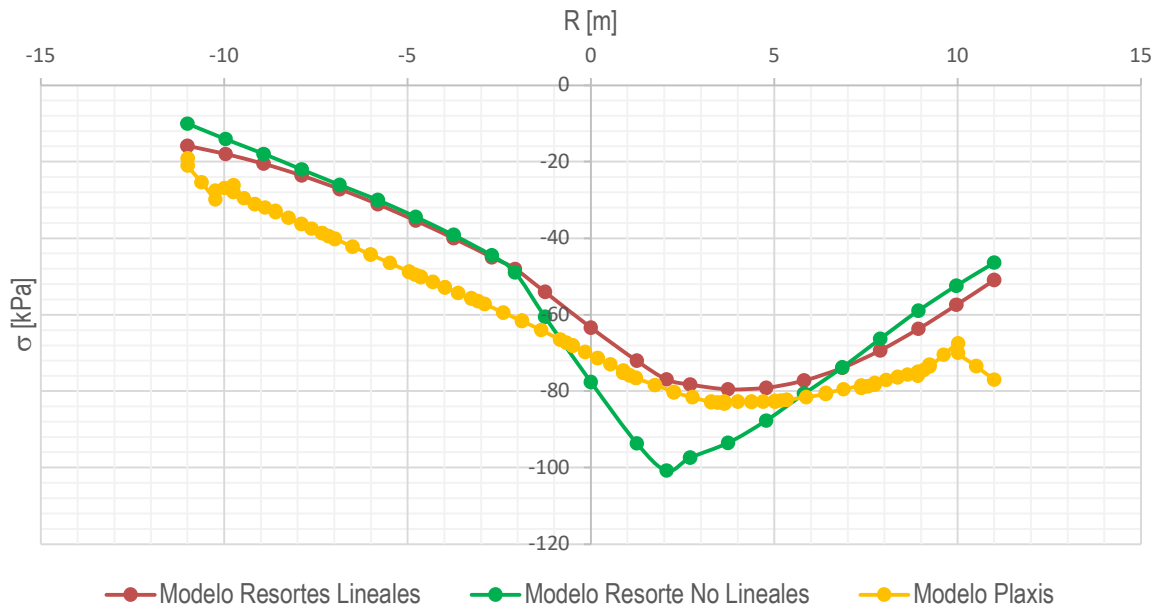


Figura N° 30 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.4.1

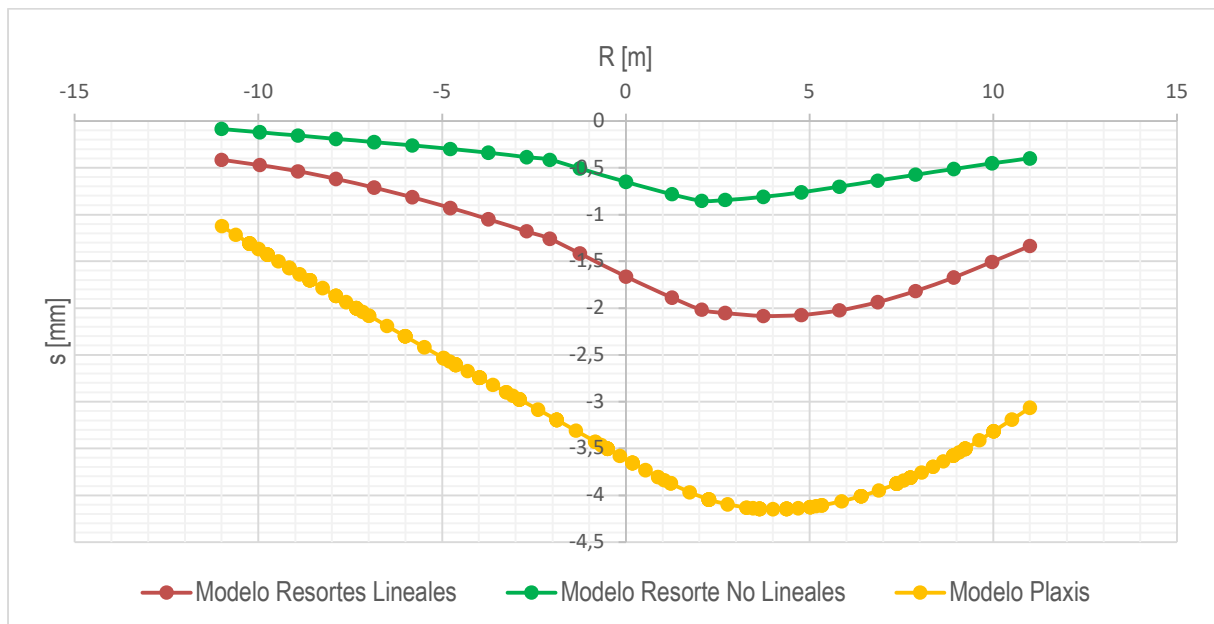


Figura N° 31 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.4.1

4.1.4. PRESIONES E/C 1.4.2

A) **Modelo de Resortes Lineales:** el diagrama de presiones es el siguiente:

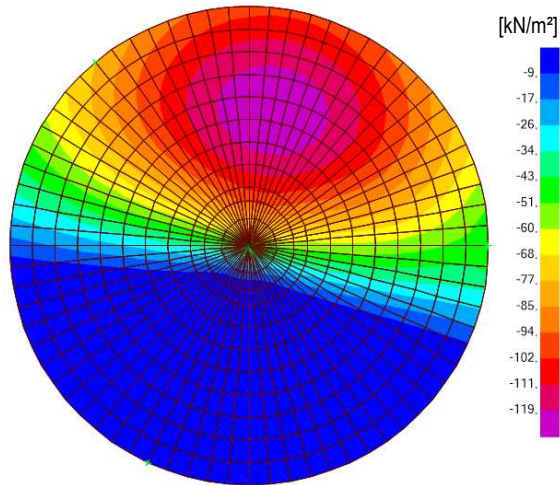


Figura N° 32 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.2 – Resortes Lineales

B) **Modelo de Resortes No-Lineales:** el diagrama de presiones es el siguiente:

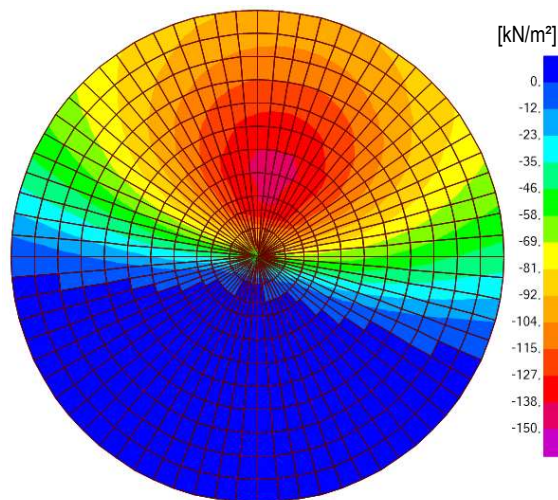


Figura N° 33 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.2 – Resortes No Lineales

C) Modelo en PLAXIS 3D: el diagrama de presiones es el siguiente:

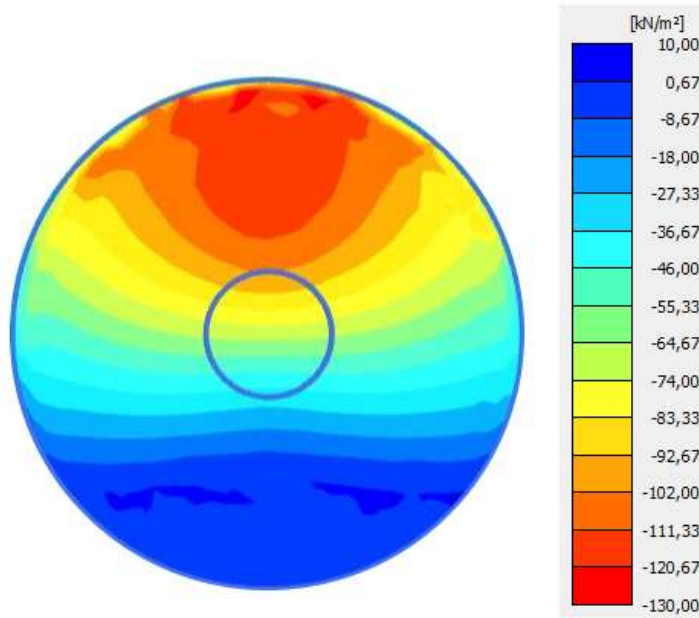


Figura N° 34 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.2 – Modelo Plaxis

D) Comparativa de presiones y desplazamientos

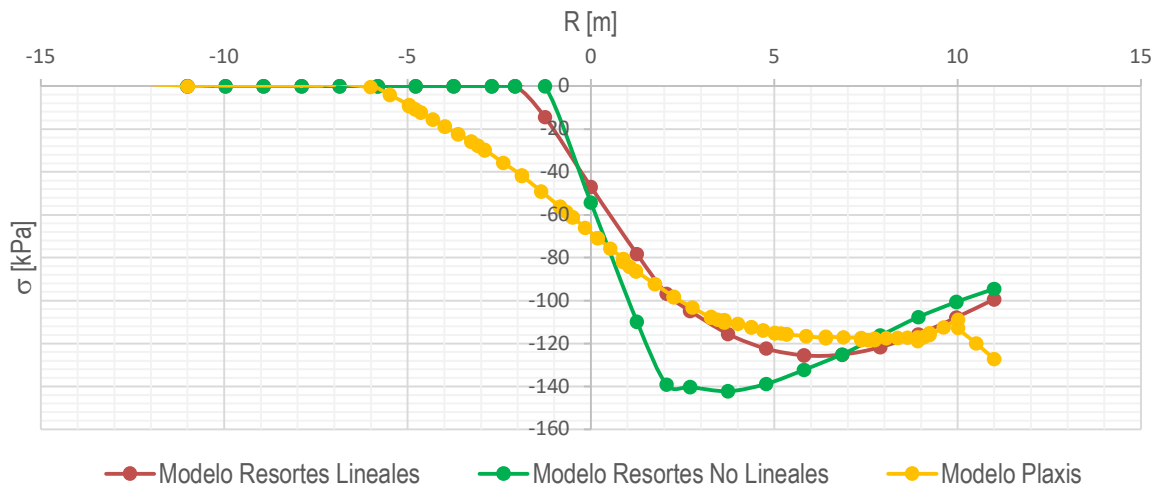


Figura N° 35 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.4.2

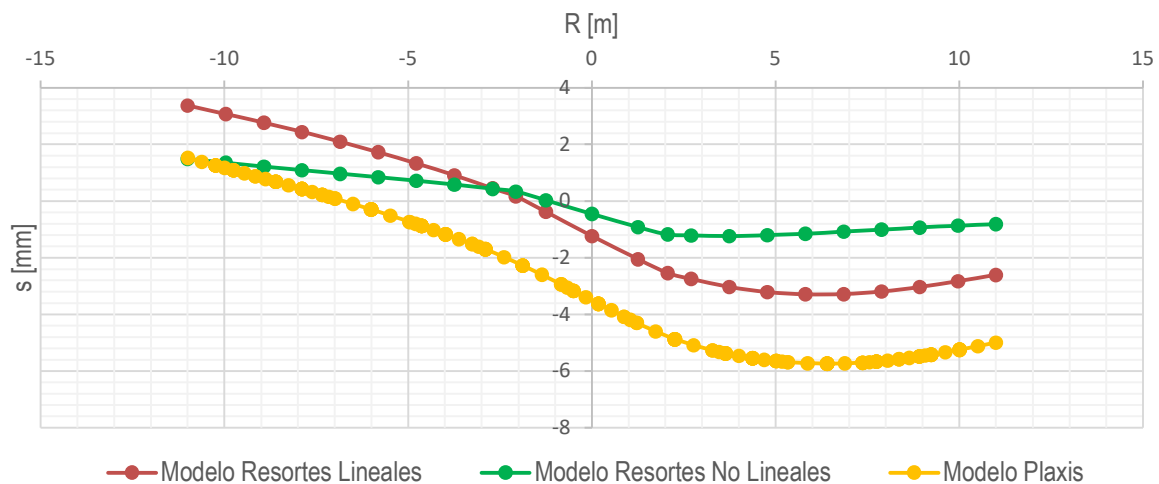


Figura N° 36 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.4.2

4.1.5. PRESIONES E/C 1.4.3

A) Modelo de Resortes Lineales: el diagrama de presiones es el siguiente:

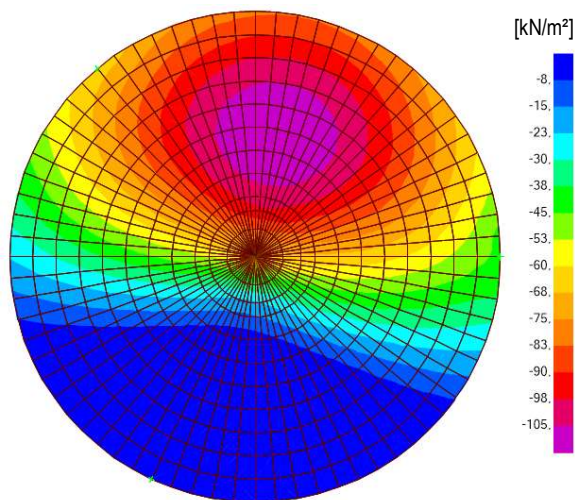


Figura N° 37 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.3 – Resortes Lineales

B) Modelo de Resortes No-Lineales: el diagrama de presiones es el siguiente:

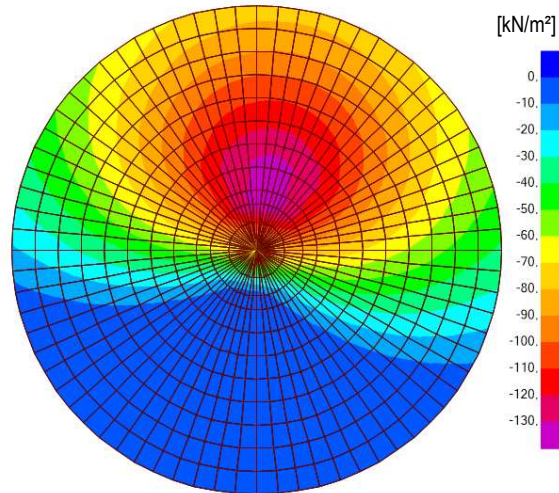


Figura N° 38 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.3 – Resortes No Lineales

C) Modelo en PLAXIS 3D: el diagrama de presiones es el siguiente:

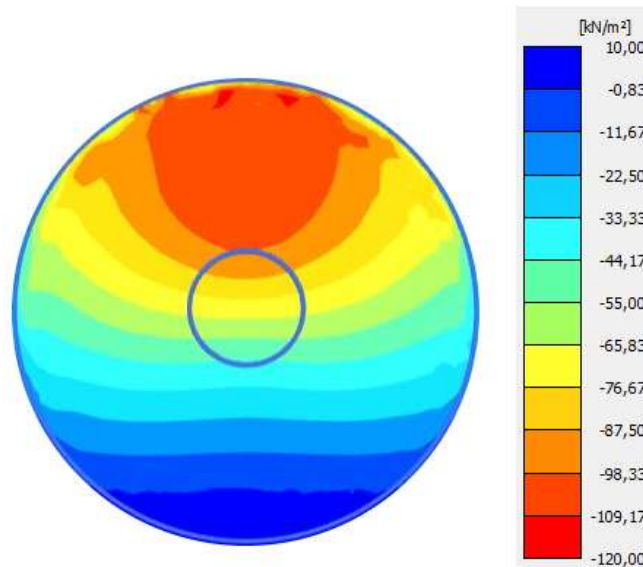


Figura N° 39 - Diagrama de presiones para el estado E/C 1.4.3 – Modelo Plaxis

D) Comparativa de presiones y desplazamientos

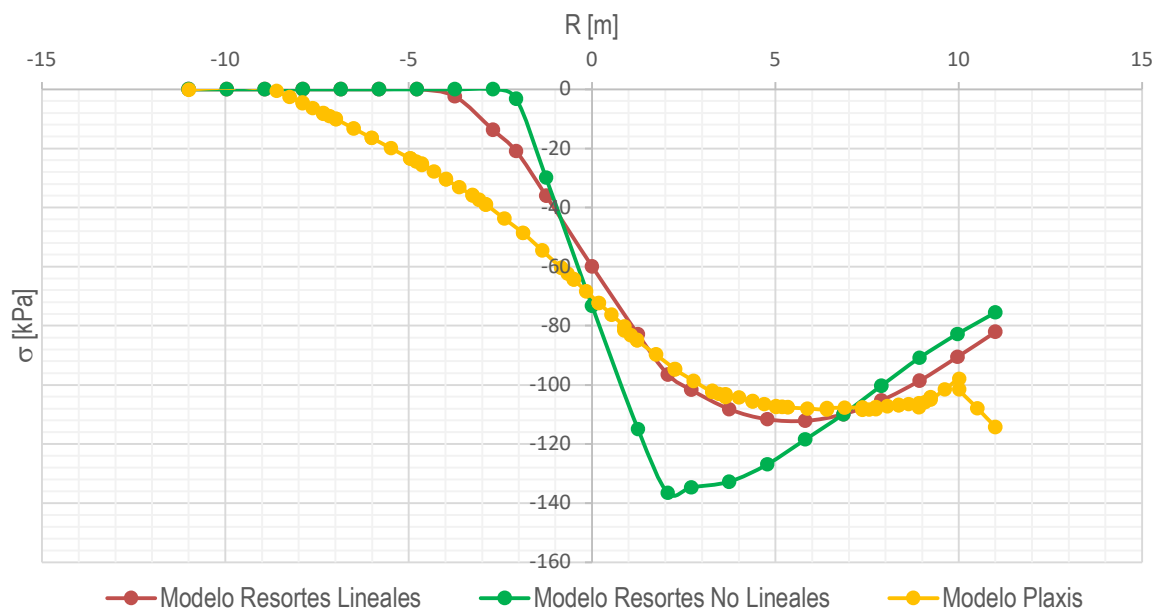


Figura N° 40 – Comparativa de presiones para el estado E/C 1.4.3

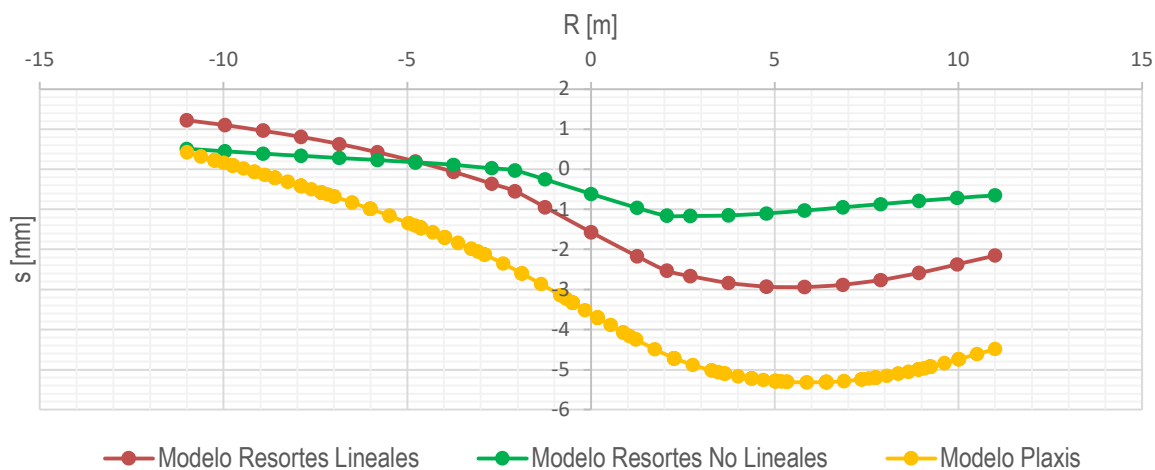




Figura N° 41 – Comparativa de desplazamientos para el estado E/C 1.4.3

4.1.6. CONCLUSIONES

Del análisis y comparación entre las presiones y desplazamientos de los distintos modelos de elementos finitos se puede concluir que:

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

En todos los estados de carga que se genera despegue de una parte de la cimentación, se observa que ambos modelos de SAP 2000 presentan mayores despegues que el modelo de PLAXIS 3D. Esto es así debido a que, en los modelos del primer programa, el suelo es considerado como resortes aplicados puntualmente en nodos, lo que quiere decir que no hay una interacción completa entre el fondo de la zapata y la primera capa de suelo. Por el contrario, en el modelo de PLAXIS 3D, al ser un modelo completo de suelo y estructura, se contempla la interacción de ambas partes de forma continua, proporcionando más apoyo al fondo de la estructura que en los dos primeros casos.

En el modelo de resortes no lineales de SAP 2000, se observa mayor concentración de tensiones y un pico que tiende a acercarse al centro de la fundación, respecto del modelo de resortes lineales de SAP 2000 y del modelo de PLAXIS 3D. Esto es así, ya que los resortes no lineales, a medida que se acercan al centro, pierden capacidad de tomar carga. Esto se deduce a partir de las curvas de las figuras 7 y 8.

El modelo de resortes lineales de SAP2000 muestra que los valores de presiones son muy similares respecto del modelo de PLAXIS 3D, pero ubicándose en diferentes posiciones. Por ejemplo, si bien en el pico de presiones de ambos modelos los valores coinciden de manera muy exacta y precisa, en los otros puntos, las presiones son similares, pero se ubican en posiciones diferentes.



Se observa además que los desplazamientos en ambos modelos de SAP 2000 son inferiores al modelo de PLAXIS 3D. En general, para el primer programa observamos desplazamientos de aproximadamente 2 mm inferiores respecto de los obtenidos en el segundo programa. Esto es una consecuencia de que los modelos de balastos proporcionan resortes más rígidos ya que están asociados a la geometría de la fundación, y no a los parámetros del suelo propiamente dicho.

Las presiones máximas del modelo de resortes lineales de SAP 2000 y del modelo de PLAXIS 3D son similares, a diferencia del modelo de resortes no lineales de SAP 2000, en donde las mismas resultan ser superiores al de resortes lineales en un rango que va desde un 13% hasta un 27% para los estados de carga evaluados.

| PARÁMETROS | | LINEAL | NO LINEAL | PLAXIS 3D |
|------------|----------------------------|----------------|-----------|----------------|
| EC 1.2 | PRESION MÁXIMA (kPa) | -100,69 | -126,19 | -102,35 |
| | DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) | -2,64 | -1,07 | -4,49 |
| EC 1.3 | PRESION MÁXIMA (kPa) | -126,10 | -142,48 | -127,83 |
| | DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) | -3,31 | -1,24 | -5,76 |
| EC | PRESION MÁXIMA (kPa) | -79,51 | -100,76 | -83,27 |
| 1.4.1 | DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) | -2,09 | -0,85 | -4,15 |
| EC | PRESION MÁXIMA (kPa) | -125,50 | -142,22 | -127,19 |
| 1.4.2 | DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) | -3,29 | -1,23 | -5,74 |
| EC | PRESION MÁXIMA (kPa) | -112,13 | -136,52 | -114,28 |
| 1.4.3 | DESPLAZAMIENTO MÁXIMO (mm) | -2,94 | -1,17 | -5,32 |

OBS: Los valores de presiones y desplazamientos no contemplan los efectos del suelo de relleno.

Tabla Nº 24 – Comparativa de presiones y desplazamientos para los MEF

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

Otro aspecto importante a destacar, es que en las curvas de presiones de PLAXIS 3D, se observa un incremento de las tensiones en las proximidades del contorno de la fundación, del lado comprimido. Esto es una perturbación que se produce producto del mallado tanto del sólido como del suelo en esta zona, pero no es de importancia a los fines del presente análisis.

En la práctica habitual, es usual realizar solamente un análisis de interacción suelo-estructura mediante el modelo de resortes lineales. El modelo de PLAXIS 3D arroja resultados que son coherentes con el primer modelo, lo cual significa que es posible representar dicha interacción mediante un modelo más simplificado; por supuesto, bajo estas condiciones particulares de suelo. Esta conclusión no debe extrapolarse a otros casos, en donde la interacción de las diferentes capas de suelo, las propiedades particulares de las mismas, la presencia de napa freática, y las cargas actuantes difieran del presente caso de estudio.

Por otra parte, el modelo de resortes no lineales presenta ciertas diferencias con respecto a los modelos de resortes lineales y de PLAXIS 3D, motivadas por la concentración de tensiones en ciertos puntos bajo la fundación. Esto significa que el modelo de resortes no lineales introduce ciertos interrogantes en cuanto a su buen funcionamiento, además de incorporar mayor complejidad de cálculo.

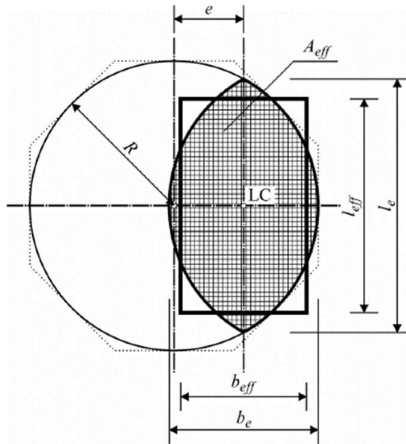
En cuanto a los modelos de SAP 2000, debe tenerse presente la relación de aspecto del mallado en los elementos que se encuentran cerca del centro de la fundación. En esta zona, se observan elementos finitos cuya relación de largo/ancho es superior a 2. La conformación del mallado se realizó pensando en el estudio de las solicitaciones internas de la fundación y no para el estudio de las presiones. Sin embargo, la comparación de presiones es válida, pero a futuro deberá tenerse en cuenta optimizar el mallado sobre el centro de la zapata de manera tal de mejorar la relación de aspecto de los elementos finitos.

Finalmente, como consecuencia de lo expuesto, se concluye que, por la similitud en los resultados, la utilización del modelo PLAXIS 3D permite validar para el diseño realizado los resultados obtenidos en el modelo de resortes lineales, ya que se trata de un modelo de mayor complejidad y más cercano a la realidad.

4.2. CAPACIDAD PORTANTE DEL TERRENO

Las presiones de suelo se evalúan analíticamente con las cargas de diseño (sin mayorar) considerando el peso del suelo de relleno, sobre el área efectiva de la fundación, A_{eff} , en donde la carga vertical se centra en el punto ubicado en la excentricidad $e = M_d / F_z$, d desde el centro.

La geometría del área efectiva se calcula de acuerdo con la siguiente figura [8]



$$l_e = 2R \sqrt{1 - \left(1 - \frac{b_e}{2R}\right)^2}$$

$$b_e = 2(R - e)$$

$$A_{eff} = 2 \left[R^2 \arccos\left(\frac{e}{R}\right) - e \sqrt{R^2 - e^2} \right]$$

$$l_{eff} = \sqrt{A_{eff} \frac{l_e}{b_e}} \text{ and } b_{eff} = \frac{l_{eff}}{l_e} b_e$$

Las tensiones admisibles se verifican para los estados operacionales E/C 1.2 y extremos E/C 1.4.3 según las recomendaciones del tecnólogo.

$$q_{adm} = 1000 \text{ kN/m}^2$$

| E/C | Acciones | | | DNV | | | | | Tensiones | Tensión admisible | Verificación |
|-------|---------------------|-----------------------|----------------------|------------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|----------------------|---|---------------------------------------|---|
| | F _z (kN) | M _{xy} (kNm) | e _{tot} (m) | A _{eff} (m ²) | b _e (m) | l _e (m) | l _{eff} (m) | b _{eff} (m) | σ _{med,eff} (kN/m ²) | q _{adm} (kN/m ²) | q _{adm} > σ _{med,eff} |
| 1.2 | 24466 | 60843 | 2,49 | 271,65 | 17,03 | 21,43 | 18,49 | 14,69 | 85,77 | 1000,00 | B.C. |
| 1.4.3 | 22475 | 74963 | 3,34 | 235,65 | 15,33 | 20,96 | 17,95 | 13,13 | 95,37 | 1000,00 | B.C. |

Tabla N° 25 – Verificación analítica de capacidad portante según DNV-RisØ

A continuación, para ampliar el análisis de las presiones sobre el suelo, se muestra la comparativa de presiones bajo los siguientes modelos:

| Estado de carga | Tensiones máximas σ [kPa] | | |
|-----------------|---------------------------|--------------------------|-----------------------------|
| | Rígido | Modelo Resortes Lineales | Modelo Resortes No Lineales |
| LC 1.2 | 117,41 | 112,83 | 137,67 |
| LC 1.4.3 | 128,93 | 122,81 | 149,33 |



OBS: En la presente tabla no se incluyen las presiones en el modelo de Plaxis 3D ya que este no considera el peso del suelo de relleno

Tabla N° 26 – Tensiones en el suelo según Modelo Rígido y MEF

Se observa que todas las tensiones son inferiores a las admisibles.

4.3. VERIFICACIÓN AL VUELCO

Según la referencia [12], punto 1.3 se especifica el estado de carga que debe verificarse al vuelco. Según la nomenclatura de esta memoria, se corresponde con el E/C 1.3. Las cargas son tomadas a nivel de suelo.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

A) Momentos Estabilizantes

$F_x = 22384,92 \text{ kN}$
 $\text{Radio} = 11,00 \text{ m}$
 $M_{est} = 246234,10 \text{ kNm}$

B) Momento Desestabilizante

$M_{des} = 89044,86 \text{ kNm}$

| | | Sin Factor | $\gamma(^*)$ | Con factor |
|------------------------------------|--------------------|------------|--------------|------------|
| Estado de Carga | E/C = | 1,3 | | |
| Suma de momentos desestabilizantes | $\Sigma M_{des} =$ | 89045 | 1,35 | 120211 |
| Suma de momentos estabilizantes | $\Sigma M_{est} =$ | 246234 | 0,9 | 221611 |
| Factor de seguridad | $F_s =$ | 2,77 | | 1,84 |
| Verificación | Condición | >1,5 ; Ok | | >1,00 ; Ok |

(*) IEC 61400-1 Art.7.6.2.1 Partial safety factors for loads

Tabla N° 27 – Evaluación del vuelco

4.4. VERIFICACIÓN AL DESLIZAMIENTO

La verificación al deslizamiento se verifica teniendo en cuenta la fuerza horizontal y el momento torsor actuando a nivel de suelo. La fuerza estabilizante es la fuerza vertical multiplicada por el coeficiente de fricción en la interfase suelo-estructura.

Deberá cumplirse la siguiente desigualdad:

$$H_d < V_d \cdot \tan \delta$$

Donde:



H_d : Fuerza horizontal de diseño

V_d : Fuerza vertical de diseño

ϕ_d : Ángulo de fricción en la interfase suelo-estructura

De acuerdo con la referencia [8] Art. 7.5.2.12, H' depende de la fuerza de corte en la base (H) y se corrige con el momento torsor M_t transmitido por la torre. Así, H' se amplifica como se ve en los cálculos.

Según la referencia [12], punto 1.4 se especifica el estado de carga que debe verificarse al deslizamiento. De acuerdo con la nomenclatura de esta memoria, se corresponde con el E/C 1.4.1 y 1.4.2. Las cargas son tomadas a nivel de suelo.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| Estado de Carga | E/C = | 1.4.1 | 1.4.2 |
|--|---|------------------------------------|------------------------------------|
| 2.a) Corrección por Momento Torsor | | | |
| $H' = \frac{2 \cdot M_z}{l_{eff}} + \sqrt{H^2 + \left(\frac{2 \cdot M_z}{l_{eff}}\right)^2}$ | Mt (kNm) = H (kN) = leff (m) = H' (kN) = | 7845,50 287 19,04 1696,48 | 2924,50 750 17,49 1155,68 |
| 2.b) Verificación al deslizamiento | | | |
| Coeficiente de mayoración | $\gamma =$ | 1,35 | 1,35 |
| Carga Horizontal con componente torsor | $Hd' \text{ (kN)} = H \cdot \gamma =$ | 2920,25 | 1560,17 |
| Coeficiente de mayoración | $\gamma =$ | 0,90 | 0,90 |
| Carga Vertical | $Vd = \gamma F_x \text{ (kN)} =$ | 22243,81 | 20155,97 |
| Ángulo de fricción del suelo | $\varphi^\circ =$ | 30,00 | 30,00 |
| | $\delta^\circ = 2/3 \cdot \varphi =$ | 20,00 | 20,00 |
| Coeficiente de fricción | $\tan \delta =$ | 0,36 | 0,36 |
| Fuerza Estabilizante | $Vd \cdot \tan \delta =$ | 7368,14 | 7336,17 |
| Factor de seguridad al deslizamiento | $F_s = F_{stab} / F_{des} =$ | 3,22 | 4,70 |
| Verificación al deslizamiento | ¿ $F_s > 1,5$? | si | si |

Tabla N° 28 – Evaluación del deslizamiento

4.5. LEVANTAMIENTO DE LA FUNDACIÓN

Las situaciones de cargas que deberá soportar la fundación de una turbina eólica pueden generar una falta de contacto entre el suelo y una parte de la fundación (despegue). Si esta situación ocurre repetidamente debido a cargas cíclicas, estamos ante un estado de despegue cíclico.

La fundación no debe experimentar efectos negativos debido al despegue cíclico.

El estado tensional en la interfaz suelo fundación debe ser tal que garantice la estabilidad geotécnica durante la vida útil, evitando asentamientos diferenciales cuya magnitud afecte la operatividad del equipamiento que soporta.

A continuación, se realizan verificaciones sugeridas en la normativa internacional de aplicación (Art. 7.5.5.3 y 7.5.5.4 de [8]) basadas en experiencias empíricas cuya aplicabilidad ha sido probada para fundaciones de turbinas eólicas.

Para esta situación se evalúan dos situaciones diferentes:

Situación 1: Debe asegurarse que la cimentación no se despegue del suelo para cargas cuasi-permanentes (con una probabilidad de excedencia del 1%). E/C = 1.2

Situación 2: Por otro lado, de acuerdo con la referencia [8], bajo cargas sin mayorar en la situación de diseño, al menos la mitad del área de la fundación debe permanecer en contacto con el suelo. E/C = 1.3

Este análisis se realiza considerando un diagrama de presiones lineales sobre el fondo de la cimentación, y a su vez se compara con los resultados obtenidos de los modelos de elementos finitos en SAP 2000, tanto para resortes lineales como no lineales.

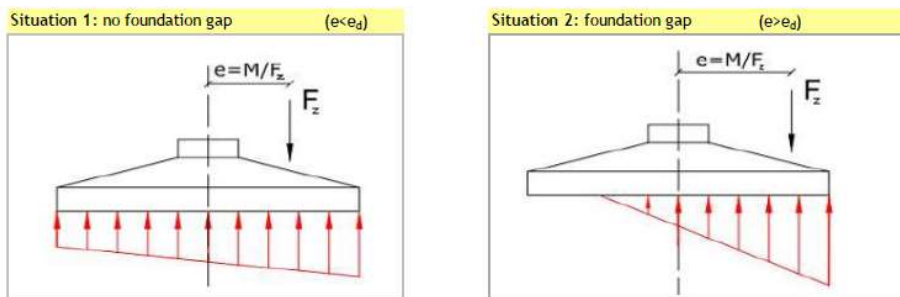
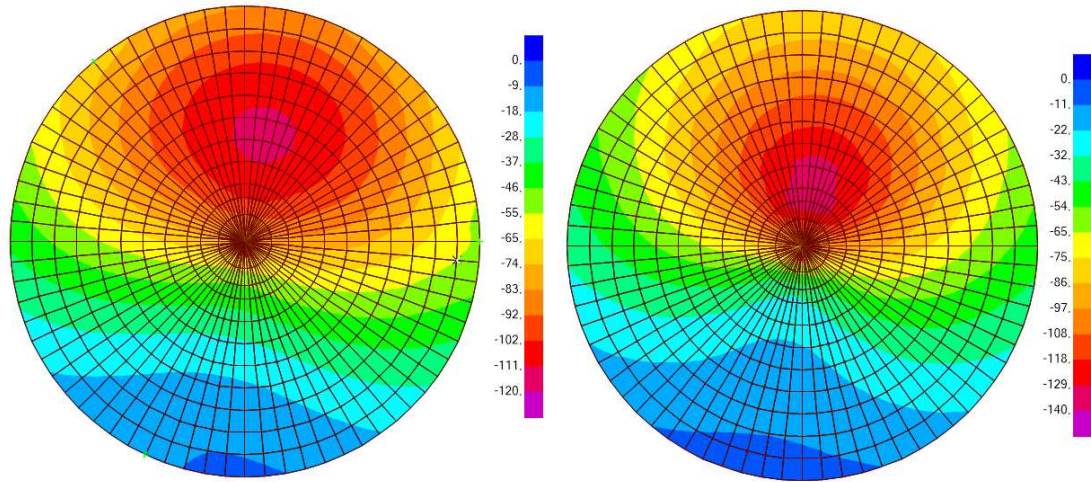


Figura N° 42 – Situaciones de evaluación de despegue

SITUACIÓN 1: Sin despegue de la zapata

| | | | |
|-----------------------------------|-------------------|----------------|-------------------|
| Radio Fundación | R = | 11 | m |
| Área Zapata | A = | 380,13 | m ² |
| Inercia Zapata | I = | 11499,01 | m ⁴ |
| Módulo resistente | W = I/R = | 1045,36 | m ³ |
| Excentricidad limite | edes = W / A = | 2,75 | m |
| Estado de carga | E/C = | 1.2 | |
| Carga vertical | F _x = | 22506,12 | kN |
| Momento flector | My _z = | 60842,62 | kNm |
| Excentricidad de cargas actuantes | e = M/N = | 2,70 | m |
| Verificación Levantamiento | ¿e < edes? | si | |
| No existe despegue | | | |
| Tensiones máximas | σ máx = | -117,41 | kN/m ² |
| Tensiones mínimas | σ mín = | -1,00 | kN/m ² |

Tabla N° 29 – Evaluación del despegue SITUACIÓN 1 – E/C 1.2



MODELO RESORTES LINEALES

MODELO RESORTES NO LINEALES

$$\sigma_{\max} = -8,17 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = -112,83 \text{ kN/m}^2$$

Toda el área permanece en contacto

$$\sigma_{\max} = -6,09 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_{\min} = -137,67 \text{ kN/m}^2$$

Toda el área permanece en contacto

Figura Nº 43 – Evaluación de SITUACIÓN 1 por MEF SAP 2000

SITUACIÓN 2: Con despegue de la zapata

| | | | |
|-----------------------------------|----------------|------------|-------------------|
| Radio Fundación | R= | 11 | m |
| Área Zapata | A = | 380,13 | m ² |
| Inercia Zapata | I = | 11499,01 | m ⁴ |
| Módulo resistente | W = I/R = | 1045,36 | m ³ |
| Excentricidad limite | edes = W / A = | 2,75 | m |
| Estado de Carga | E/C = | 1.3 | |
| Momento | Myz = | 89045 | kNm |
| Fuerza Vertical | Fx = | 22385 | kN |
| Excentricidad de cargas actuantes | e = M/N = | 3,98 | m |
| Verificación Levantamiento | ¿e < edes? | no | |
| Existe despegue | | | |
| Distancia de despegue | s = | 2,81 | m |
| Long. En contacto | a = | 19,19 | m |
| Angulo | θ = | 0,73 | rad |
| Área sector circular en contacto | A' = | 351,77 | m ² |
| tensión máxima | σmax = | 144,12 | kN/m ² |
| parámetro p/ caculo de baricentro | Ryx = | 89045 | kNm |
| Resultante vertical total | Rc = | 22385 | kN |
| Baricentro | x = | 3,98 | m |
| Equilibrio de momento | Mxz-x.Rc = | 0,00 | kNm |
| Equilibrio de fuerzas | Rc-Fx= | 0,00 | kN |
| reacción a la izquierda | Rizq = Rsi = | 4032 | kN |
| reacción a la derecha | Rder = Rsd = | 18353 | kN |
| Reacción total (verificación) | Rc = | 22385 | kN |

| | | | |
|-------------------------------|-------------------------|---------|-------------------|
| Área en contacto | $A' =$ | 351,77 | m ² |
| Verificación de levantamiento | $\zeta A' \geq A/2 ?$ | si | |
| Tensiones máximas | $\sigma_{\text{máx}} =$ | -144,12 | kN/m ² |
| Tensiones mínimas | $\sigma_{\text{mín}} =$ | 0 | kN/m ² |

Tabla N° 30 – Evaluación del despegue SITUACIÓN 2 – E/C 1.3

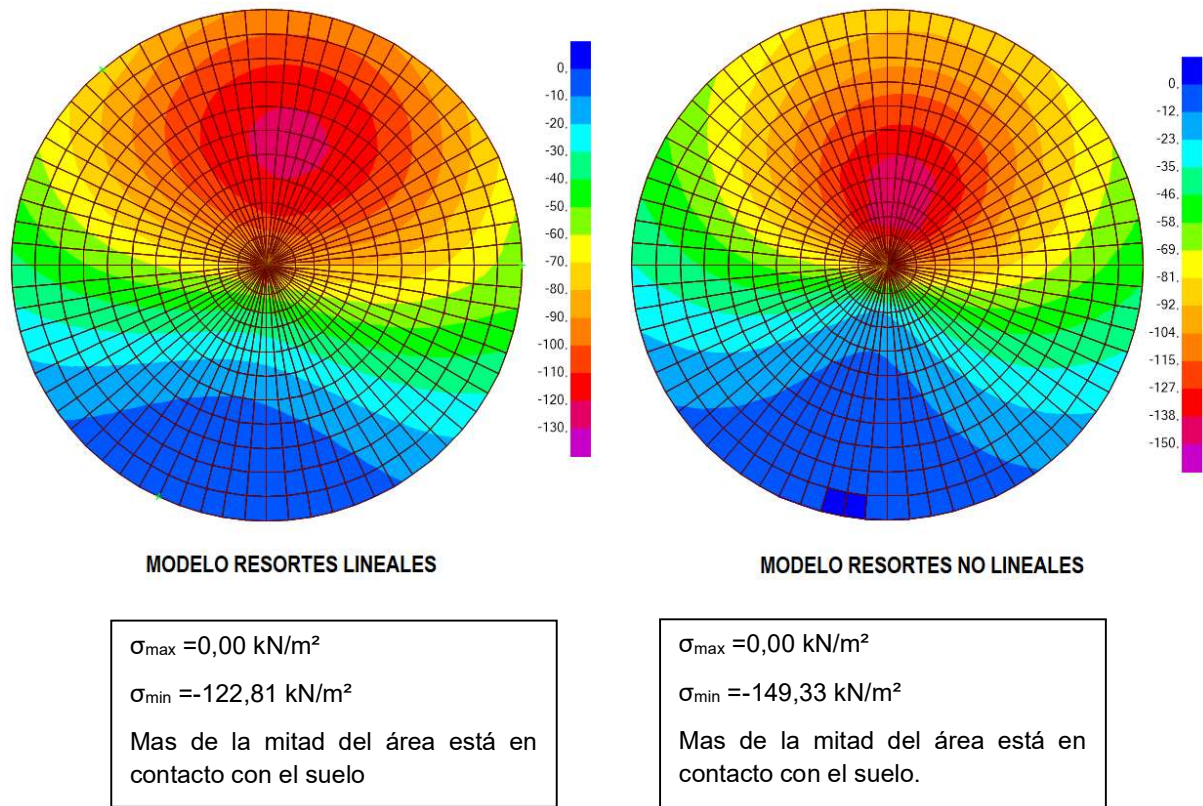




Figura N° 44 – Evaluación de SITUACIÓN 2 por MEF SAP 2000

A modo de conclusión, se observa que el modelo de resortes no lineales predice una tensión de contacto más elevada que el modelo de resortes lineales. Esto es coherente con lo expresado cuando previamente analizamos la interacción suelo estructura.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

4.6. VERIFICACION DE RIGIDEZ ROTACIONAL DINÁMICA

La fundación del aerogenerador debe proveer de suficiente rigidez rotacional para evitar una excesiva reducción de la frecuencia natural de la torre, la cual tendría efectos negativos en el comportamiento dinámico de la estructura y al final, podría generar una amplificación en la resonancia dinámica si la frecuencia natural desciende y coincide con la frecuencia de vibración del rotor.

Para la fundación propuesta de 22,00 m de diámetro y los valores ponderados de módulo de corte a altas deformaciones G_d y del coeficiente de Poisson ν , se calculan los valores de rigidez rotacional $K_\phi = 8 \cdot G_d \cdot r^3 / 3 \cdot (1 - \nu)$ en cada posición que se comparan con el valor mínimo de rigidez rotacional $K_{\phi, \min}$.

El mínimo valor de rigidez rotacional lo da el proveedor de la turbina. En este caso el tecnólogo exige que este valor debe ser como mínimo de $K_{\phi, \min} = 7 \times 10^7$ kNm/rad.

Para verificar si este requisito se cumple para el suelo que se encuentra por debajo del nivel de fundación, en primer lugar, se obtiene el módulo de corte dinámico equivalente G_d a todas las capas de suelo que conformen el suelo de apoyo.

Este último se obtiene con los valores del módulo de corte a bajas deformaciones de cada uno de los estratos, G_0 .

Para esto, se procede a analizar los perfiles del estudio geofísico en donde se observan las velocidades de onda de corte (V_s) de las diferentes capas. Este parámetro V_s está directamente relacionado al módulo de corte G_0 , el cual representa la respuesta del suelo de apoyo para bajos niveles de distorsión. ($< 10^{-4}$).

Una vez que se obtienen los módulos de corte de las diferentes capas de suelo G_{0i} , se procede a obtener el valor de G_0 ponderado en cada posición con los diferentes parámetros asociados, como los coeficientes de Poisson, densidades, etc. Esto significa llevar la condición de heterogeneidad del suelo, a una condición de medio homogéneo.

La ponderación se realiza mediante un modelo terreno multicapa, en donde se toma la hipótesis de Steinbrenner (1934) (Jiménez salas Geotécnica y Cimientos III, pág. 257 y 263) en el cual se supone un terreno formado por varias capas o estratos de diferentes espesores "hi", y módulo de deformación E_{i0} y G_{i0} , influyendo cada capa en función de su espesor, su rigidez y la profundidad en que se sitúa.

Luego, el valor de G_0 debe ser adaptado al valor que el suelo mostraría al nivel de distorsión impuesto por las cargas. Este valor resulta ser el módulo de corte dinámico G_d (para niveles de deformaciones en operación) cuyas distorsiones están en el orden de 10^{-3} y 10^{-4} .

El modelo de cálculo empleado toma como base el cálculo de giro ante un momento para el caso de una fundación circular rígida sobre el modelo matemático de semiespacio elástico, homogéneo e isótropo de Boussinesq. De estas hipótesis surge que la distorsión angular se calcula como $\gamma_{\max} = M_{op} / K_{\phi, \min}$ [rad]

Con los resultados de distorsión máxima se determina la relación entre G_d / G_0 que tiene en cuenta el salto entre los diferentes niveles de deformación. Para esto se emplea la curva determinada en la sección 8.4 de la referencia [8]. Los cálculos se resumen a continuación:

Características de la turbina del aerogenerador

| | |
|--|-----------------------------------|
| Tipo de turbina | 4,0-137 50 HZ |
| Altura al centro del rotor | HH [m] = 111,5 |
| Rigidez rotacional requerida de la fundación (prop. Por el fabricante) | $K_{\phi, \min}$ [kNm/rad] = 7E+7 |
| Máximo momento de operación (99% de probabilidad de no exceso) | M_{op} [kNm] = 60843 |

Características de la fundación

| | |
|-----------------------------------|------------------------|
| Geometría | CIRCULAR |
| Diámetro de la fundación | \varnothing [m] = 22 |
| Radio equivalente de la fundación | r_0 (m) = R [m] = 11 |
| Altura del estrato equivalente | H [m] = 33,00 |

Módulo de corte efectivo del suelo y rigideces en cada posición

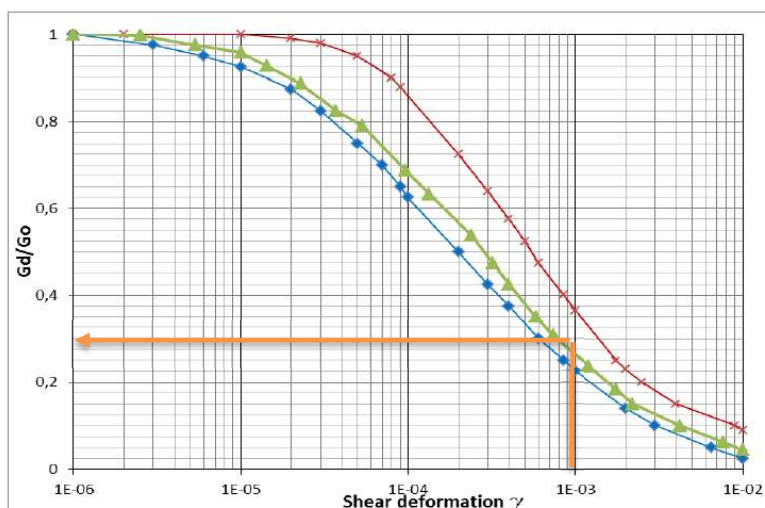
El módulo de corte efectivo del suelo es variable y dependiente del nivel de deformaciones por corte del suelo generado por las cargas activas. El módulo de corte inicial o máximo G_0 corresponde a muy bajas deformaciones por corte ($\gamma=10^{-5}$). Para niveles de deformación por corte más altos, los módulos de rigidez efectivos (G, E), serán gradualmente menores. El suelo de fundación de las torres de viento experimenta menores niveles de deformación por corte en condiciones de operación el cual usualmente varía entre $\gamma=10^{-3}$ y 10^{-4} .

Por lo tanto, se aplica un factor de reducción al módulo G_0 , el cual depende del nivel de deformación por corte, proporcionando así el módulo de corte efectivo G_d para la situación bajo análisis. Las curvas que describen la reducción de la rigidez del suelo dependientes de las deformaciones han sido descritas por varios autores conocidos.

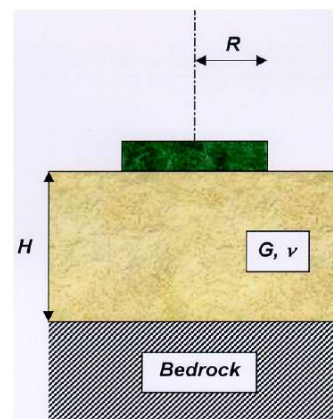
Máxima deformación por corte limite bajo cargas de operaciones
 Coeficiente para obtener el módulo de corte dinámico (*)

$$\gamma_{\max} = M_{op} / K_{\phi, \min} = 8,7E-04$$



$$G/G_0 = E/E_0 = 0,3$$



ESTRATO SOBRE ROCA



(*) ver DNV/RisØ 2nd Edition "Guidelines for Design of Wind Turbines", sección 8.4 [3]
 (**) Referencia [8]

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| POSICIÓN | h0 [m] | v | Gd [MPa] | Ed [MPa] | K _φ [kNm/rad] | ¿ K _φ > K _{φmin} ? |
|----------|-----------|------|-------------|-------------|-----------------------------|--|
| WTG 01 | 2,94 | 0,42 | 2782,09 | 6641,81 | 1,79E+10 | OK |
| WTG 02 | 4,90 | 0,39 | 2347,29 | 6005,37 | 1,44E+10 | OK |
| WTG 03 | 3,15 | 0,39 | 1564,46 | 3992,10 | 9,64E+09 | OK |
| WTG 04 | 2,40 | 0,39 | 1271,73 | 3241,49 | 7,84E+09 | OK |
| WTG 05 | 4,57 | 0,43 | 1071,37 | 2475,93 | 7,08E+09 | OK |
| WTG 06 | 3,25 | 0,40 | 2628,39 | 6649,13 | 1,63E+10 | OK |
| WTG 07 | 2,22 | 0,41 | 1223,21 | 2990,45 | 7,75E+09 | OK |
| WTG 08 | 2,90 | 0,38 | 2266,44 | 5971,99 | 1,37E+10 | OK |
| WTG 09 | 2,75 | 0,36 | 741,98 | 2045,08 | 4,36E+09 | OK |
| WTG 10 | 2,05 | 0,38 | 370,18 | 983,54 | 2,22E+09 | OK |
| WTG 11 | 3,87 | 0,40 | 1245,12 | 3105,14 | 7,79E+09 | OK |
| WTG 12 | 3,25 | 0,38 | 1619,21 | 4215,44 | 9,85E+09 | OK |
| WTG 13 | 3,40 | 0,39 | 494,48 | 1254,44 | 3,06E+09 | OK |

Tabla N° 31 – Verificación de rigideces rotacionales dinámicas en cada posición

Go / Eo: Módulos de corte y elástico equivalentes (Geofísica) - Bajas distorsiones $\gamma < 10^{-5}$ (Ver ANEXO II)

Gd / Ed: Módulo elástico equivalente (Operacional) - Distorsión $10^{-3} < \gamma < 10^{-4}$

v: Coeficiente de Poisson equivalente, que tiene en cuenta la estratificación.

h0: Profundidad de la fundación respecto al Nivel de Terreno Natural.

H: Altura del estrato desde fondo de la cimentación.

K_{φmin}: Mínima rigidez rotacional.

K_φ: Rigidez rotacional del suelo.

Asentamientos. Rotaciones resultantes

Se verifica que la rotación que producen las cargas de operación no supere la máxima permitida.

Con una variación dinámica del momento flector igual al máximo momento flector en condiciones de operación, la variación rotacional de la fundación, usando el módulo del suelo, será:

| | | | |
|--|--|-------------|------|
| Momento de operación | $\Delta M = M_{op} =$ | 60843 | kNm |
| Rotación de la fundación bajo el momento de operación | $\Delta \theta = M_{op} / K_{\phi}$ | | mm/m |
| Rotación máxima permitida de la fundación bajo el máximo momento | $\Delta \theta_{max} = M_{op} / K_{\phi, min}$ | 0,87 | mm/m |
| | $\Delta \theta_{max} =$ | 0,0009 | rad |
| Asentamiento Máximo por rotación | $\delta_{max} = \Delta \theta_{max} \cdot r_0 =$ | 9,56 | mm |
| Asentamientos por rotación | $\delta = \Delta \theta \cdot r_0$ | | |

| POSICIÓN | K_{ϕ} [kNm/rad] | $\Delta\theta$ [rad] | $\Delta\theta$ [mm/m] | $\dot{\epsilon} \Delta\theta_{max} > \Delta\theta \dot{\epsilon}$ | $\bar{\delta}$ [mm] | $\dot{\epsilon} \delta_{max} > \delta ?$ |
|---------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---|------------------------|--|
| WTG 01 | 1,79E+10 | 3,39E-06 | 0,003 | OK | 0,037 | OK |
| WTG 02 | 1,44E+10 | 4,21E-06 | 0,004 | OK | 0,046 | OK |
| WTG 03 | 9,64E+09 | 6,31E-06 | 0,006 | OK | 0,069 | OK |
| WTG 04 | 7,84E+09 | 7,76E-06 | 0,008 | OK | 0,085 | OK |
| WTG 05 | 7,08E+09 | 8,60E-06 | 0,009 | OK | 0,095 | OK |
| WTG 06 | 1,63E+10 | 3,74E-06 | 0,004 | OK | 0,041 | OK |
| WTG 07 | 7,75E+09 | 7,85E-06 | 0,008 | OK | 0,086 | OK |
| WTG 08 | 1,37E+10 | 4,45E-06 | 0,004 | OK | 0,049 | OK |
| WTG 09 | 4,36E+09 | 1,39E-05 | 0,014 | OK | 0,153 | OK |
| WTG 10 | 2,22E+09 | 2,74E-05 | 0,027 | OK | 0,301 | OK |
| WTG 11 | 7,79E+09 | 7,81E-06 | 0,008 | OK | 0,086 | OK |
| WTG 12 | 9,85E+09 | 6,18E-06 | 0,006 | OK | 0,068 | OK |
| WTG 13 | 3,06E+09 | 1,99E-05 | 0,020 | OK | 0,219 | OK |

Tabla N° 32 – Verificación de desplazamientos por giros rotacionales

4.7. VERIFICACION DE RIGIDEZ ROTACIONAL ESTÁTICA

El tecnólogo exige que se verifique un mínimo valor de rigidez rotacional estática, la cual tiene que ser 1/5 de la rigidez dinámica. Este valor es debe ser $K_{\phi, stat, min} = 1.4 \times 10^7$ kNm/rad.

Características de la turbina del aerogenerador

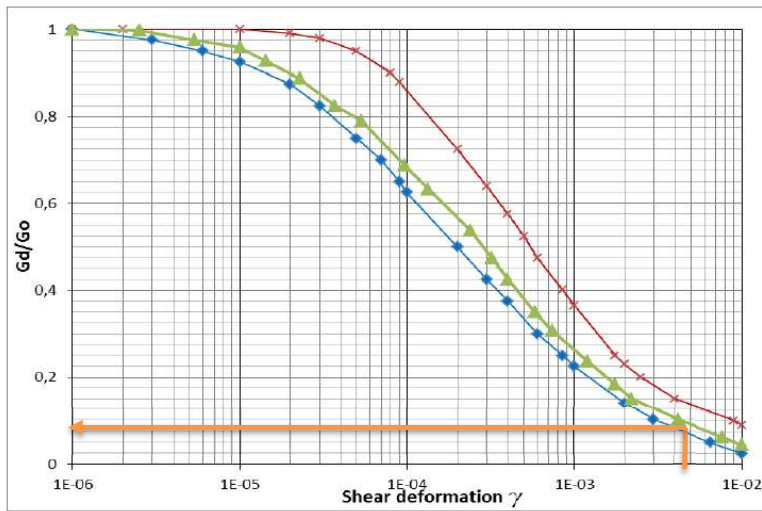
| | |
|---|--|
| Tipo de turbina | 4,0-137 50 HZ |
| Altura al centro del rotor | HH [m] = 111,5 |
| Rigidez rotacional requerida de la fundación (prop. Fabricante) | $K_{\phi, stat, min}$ [kNm/rad] = 1.4E+7 |

Características de la fundación

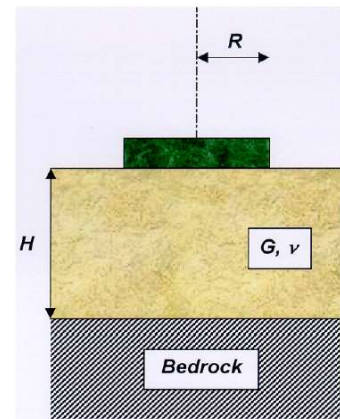
| | |
|---|------------------------|
| Geometría | CIRCULAR |
| Diámetro de la fundación | \emptyset [m] = 22 |
| Radio equivalente de la fundación | r_0 (m) = R [m] = 11 |
| Altura del estrato desde la roca a nivel de fundación | H [m] = 33 |

Módulo de corte efectivo del suelo y rigideces en cada posición

| | | |
|--|---|---------|
| Máxima deformación por corte limite bajo cargas de operaciones | $\gamma_{max} = M_{op} / K_{\phi, stat, min} =$ | 4,3E-03 |
| Coefficiente para obtener el módulo de corte estático (*) | $G/G_0 = E/E_0 =$ | 0,1 |



ESTRATO SOBRE ROCA



(*) (**). $K_{\phi} = 8 \cdot G_d \cdot r_0^3 \cdot (1 + r_0/6 \cdot H) / (3 \cdot (1 - \nu))$ [MNm/rad]

(*) ver DNV/RisØ 2nd Edition "Guidelines for Designo of Wind Turbines", sección 8.4. [3]

(**) Referencia [8]

| POSICIÓN | h0 [m] | ν | Ge [Mpa] | Ee [Mpa] | K_{ϕ} [kNm/rad] | ζ $K_{\phi} > K_{\phi min}$ ζ |
|----------|-----------|-------|-------------|-------------|-------------------------|--|
| WTG 01 | 2,94 | 0,42 | 927,36 | 2213,94 | 5,98E+09 | OK |
| WTG 02 | 4,90 | 0,39 | 782,43 | 2001,79 | 4,81E+09 | OK |
| WTG 03 | 3,15 | 0,39 | 521,49 | 1330,70 | 3,21E+09 | OK |
| WTG 04 | 2,40 | 0,39 | 423,91 | 1080,50 | 2,61E+09 | OK |
| WTG 05 | 4,57 | 0,43 | 357,12 | 825,31 | 2,36E+09 | OK |
| WTG 06 | 3,25 | 0,40 | 876,13 | 2216,38 | 5,43E+09 | OK |
| WTG 07 | 2,22 | 0,41 | 407,74 | 996,82 | 2,58E+09 | OK |
| WTG 08 | 2,90 | 0,38 | 755,48 | 1990,66 | 4,56E+09 | OK |
| WTG 09 | 2,75 | 0,36 | 247,33 | 681,69 | 1,45E+09 | OK |
| WTG 10 | 2,05 | 0,38 | 123,39 | 327,85 | 7,41E+08 | OK |
| WTG 11 | 3,87 | 0,40 | 415,04 | 1035,05 | 2,60E+09 | OK |
| WTG 12 | 3,25 | 0,38 | 539,74 | 1405,15 | 3,28E+09 | OK |
| WTG 13 | 3,40 | 0,39 | 164,83 | 418,15 | 1,02E+09 | OK |

Tabla N° 33 – Verificación de rigideces rotacionales estáticas en cada posición

Go / Eo: Módulos de corte y elástico equivalentes (Geofísica) – Bajas distorsiones $\gamma < 10^{-5}$ (Ver ANEXO II)

Ge / Ee: Módulos de corte y elástico equivalentes (Estático) – Distorsión $10^{-2} < \gamma < 10^{-1}$



ν : Coeficiente de Poisson equivalente, que tiene en cuenta la estratificación.

H0: Profundidad de la fundación respecto al Nivel de Terreno Natural.

H: Altura del estrato desde fondo de la cimentación.

$K_{\phi, stat, min}$: Mínima rigidez rotacional estática mínima.

K_{ϕ} : Rigidez rotacional del suelo.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

4.8. VERIFICACION DE RIGIDEZ HORIZONTAL

Características de la turbina de viento

| | |
|---|--------------------------|
| Tipo de turbina | 4,0-137 50 HZ |
| Altura al centro del rotor | HH [m] = 111,5 |
| Rigidez horizontal requerida de la fundación (prop. fabricante) | Kyz,min [kN/m]= 5,00E+05 |
| Máxima fuerza horizontal (99% de probabilidad de no exceso) | Fyzop [kN] = 540,58 |

Módulo de corte efectivo del suelo y rigideces en cada posición

| | |
|--|---|
| Coef. para obtener el módulo de corte dinámico (*) | G/G ₀ = E/E ₀ = 0,3 |
|--|---|

(*)(**) $K_{yz} = 4 \cdot r_0 \cdot G_d \cdot (1 + 1.28 r_0 / H) / (1 - \nu)$



(*) ver DNV/RisØ 2nd Edition "Guidelines for design of Wind Turbines", sección 8.4. [3]

(**) Referencia [8]

| POSICIÓN | h0 [m] | ν | Gd [MPa] | Ed [MPa] | Kyz [kN/m] | γ Kyz > Kyz _{min} ? |
|----------|-----------|-------|-------------|-------------|---------------|--|
| WTG 01 | 2,94 | 0,42 | 2782,09 | 6641,81 | 3,01E+08 | OK |
| WTG 02 | 4,90 | 0,39 | 2347,29 | 6005,37 | 2,42E+08 | OK |
| WTG 03 | 3,15 | 0,39 | 1564,46 | 3992,10 | 1,61E+08 | OK |
| WTG 04 | 2,40 | 0,39 | 1271,73 | 3241,49 | 1,31E+08 | OK |
| WTG 05 | 4,57 | 0,43 | 1071,37 | 2475,93 | 1,19E+08 | OK |
| WTG 06 | 3,25 | 0,40 | 2628,39 | 6649,13 | 2,73E+08 | OK |
| WTG 07 | 2,22 | 0,41 | 1223,21 | 2990,45 | 1,30E+08 | OK |
| WTG 08 | 2,90 | 0,38 | 2266,44 | 5971,99 | 2,29E+08 | OK |
| WTG 09 | 2,75 | 0,36 | 741,98 | 2045,08 | 7,31E+07 | OK |
| WTG 10 | 2,05 | 0,38 | 370,18 | 983,54 | 3,73E+07 | OK |
| WTG 11 | 3,87 | 0,40 | 1245,12 | 3105,14 | 1,30E+08 | OK |
| WTG 12 | 3,25 | 0,38 | 1619,21 | 4215,44 | 1,65E+08 | OK |
| WTG 13 | 3,40 | 0,39 | 494,48 | 1254,44 | 5,12E+07 | OK |

Tabla N° 34 - Verificación de rigideces horizontales en cada posición

| | |
|----------|---|
| Go / Eo: | Módulos de corte y elástico equivalentes (Geofísica) - Bajas distorsiones $\gamma < 10^{-5}$ (Ver ANEXO II) |
| Gd / Ed: | Módulo elástico equivalente (Operacional) - Distorsión $10^{-3} < \gamma < 10^{-4}$ |
| ν : | Coeficiente de Poisson equivalente, que tiene en cuenta la estratificación. |
| h0: | Profundidad de la fundación respecto al Nivel de Terreno Natural |
| H: | Altura del estrato desde fondo de la cimentación |
| Kyzmin: | Mínima rigidez horizontal |
| Kyz: | Rigidez horizontal |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

4.9. ASENTAMIENTOS

Los asentamientos se verificarán con los modelos de elementos finitos, considerando el peso del suelo de relleno.

Debido a que las diferencias de asentamientos entre los modelos en SAP y PLAXIS 3D no es significativa, se utilizará el modelo de SAP de resortes lineales para verificar tal situación:

Con respecto a los asentamientos diferenciales, los mismos son verificados por dos caminos:

- A) Rigidez rotacional.
- B) Limitaciones de asentamientos diferenciales.

Los cálculos de rigidez rotacional fueron realizados anteriormente y se verificaron conjuntamente los asentamientos por rotación.

En lo que respecta al segundo punto, el tecnólogo en el punto 3 de la referencia [12], limita los asentamientos diferenciales a 3 mm/m, y se observa que en todos los casos los desplazamientos $\Delta\theta$ son inferiores a este valor límite.

4.10. INSPECCIÓN DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN

Todas las verificaciones previas son válidas siempre que se observe que el suelo en las excavaciones de la fundación se corresponda de una manera confiable con las características descritas en los relevamientos de campo. Debe verificarse también que la base de apoyo sea homogénea para prevenir asentamientos diferenciales.

Con respecto a la geología del sitio, el principal objetivo será asegurar que no se encuentren diferentes tipos de suelo o roca en el fondo de la misma excavación.

Para confirmar estos aspectos un geólogo o un ingeniero geotécnico estará en el lugar encargándose de validar los fondos de las excavaciones o para recomendar las acciones apropiadas que se llevarán a cabo en el caso que por alguna razón la excavación de la base no sea apropiada para la fundación.

5. COMPROBACIONES ESTRUCTURALES

Todos los cálculos estructurales de armaduras y verificaciones relacionadas al hormigón se han realizado de acuerdo con el reglamento CIRSOC 201-2005.

Las combinaciones de acciones que se han considerado se indican a continuación:

Tabla Nº 35 - Verificación de rigideces rotacionales estáticas en cada posición

| S/IEC 614000 | E/C | γ vert | γ horiz | Cargas en la base de la torre | | | |
|--|-----|---------------|----------------|-------------------------------|-------------|-------------|--------------|
| | | | | Fx [kN] | Fyz [kN] | Mx [kNm] | Myz [kNm] |
| EXTREME LOADS - TABLA 1 - [12] | | | | | | | |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4446 | 392 | -4436 | 40397 |
| | 1 | 0,9 | 1,1 | 4001 | 432 | -4879 | 44436 |
| | 12 | 1,1 | 1,1 | 4890 | 432 | -4879 | 44436 |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4206 | 633 | 4016 | 73228 |
| | 2 | 0,9 | 1,1 | 3786 | 696 | 4417 | 80550 |
| | 13 | 1,1 | 1,1 | 4627 | 696 | 4417 | 80550 |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4249 | 750 | 2925 | 86245 |
| | 3 | 0,9 | 1,1 | 3824 | 825 | 3217 | 94869 |
| | 14 | 1,1 | 1,1 | 4674 | 825 | 3217 | 94869 |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4365 | 287 | -7846 | 29945 |
| | 4 | 0,9 | 1,1 | 3928 | 316 | -8630 | 32940 |
| | 15 | 1,1 | 1,1 | 4801 | 316 | -8630 | 32940 |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4271 | 729 | 2924 | 86360 |
| | 5 | 0,9 | 1,1 | 3844 | 802 | 3217 | 94996 |
| | 16 | 1,1 | 1,1 | 4698 | 802 | 3217 | 94996 |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4210 | 609 | 4289 | 72738 |
| | 6 | 0,9 | 1,1 | 3789 | 670 | 4718 | 80012 |
| | 17 | 1,1 | 1,1 | 4631 | 670 | 4718 | 80012 |
| 2.2 | | 1 | 1 | 4238 | 732 | 1415 | 86850 |
| | 7 | 0,9 | 1,1 | 3814 | 805 | 1556 | 95535 |
| | 18 | 1,1 | 1,1 | 4662 | 805 | 1556 | 95535 |
| NORMAL LOADS - TABLA 1 A - [12] | | | | | | | |
| 1.3 | | 1 | 1 | 4435 | 520 | -2543 | 54641 |
| | 8 | 0,9 | 1,35 | 3991 | 703 | -3433 | 73766 |
| | 19 | 1,35 | 1,35 | 5987 | 703 | -3433 | 73766 |
| 4.2 | | 1 | 1 | 4326 | 673 | 407 | 72910 |
| | 9 | 0,9 | 1,35 | 3893 | 908 | 549 | 98429 |
| | 20 | 1,35 | 1,35 | 5840 | 908 | 549 | 98429 |
| 1.3 | | 1 | 1 | 4279 | 191 | -5389 | 22443 |
| | 10 | 0,9 | 1,35 | 3851 | 258 | -7275 | 30298 |
| | 21 | 1,35 | 1,35 | 5777 | 258 | -7275 | 30298 |
| 4.2 | | 1 | 1 | 4329 | 672 | 329 | 72947 |
| | 11 | 0,9 | 1,35 | 3896 | 907 | 445 | 98478 |
| | 22 | 1,35 | 1,35 | 5843 | 907 | 445 | 98478 |

5.1. ARMADURA INFERIOR DE LA FUNDACIÓN

5.1.1. CÁLCULO DEL ARMADO RADIAL INFERIOR

A continuación, se muestra el diagrama de momentos flectores M_{11} , que es con el que se dimensionará esta armadura:

Nota: Los momentos positivos son de tracción abajo.

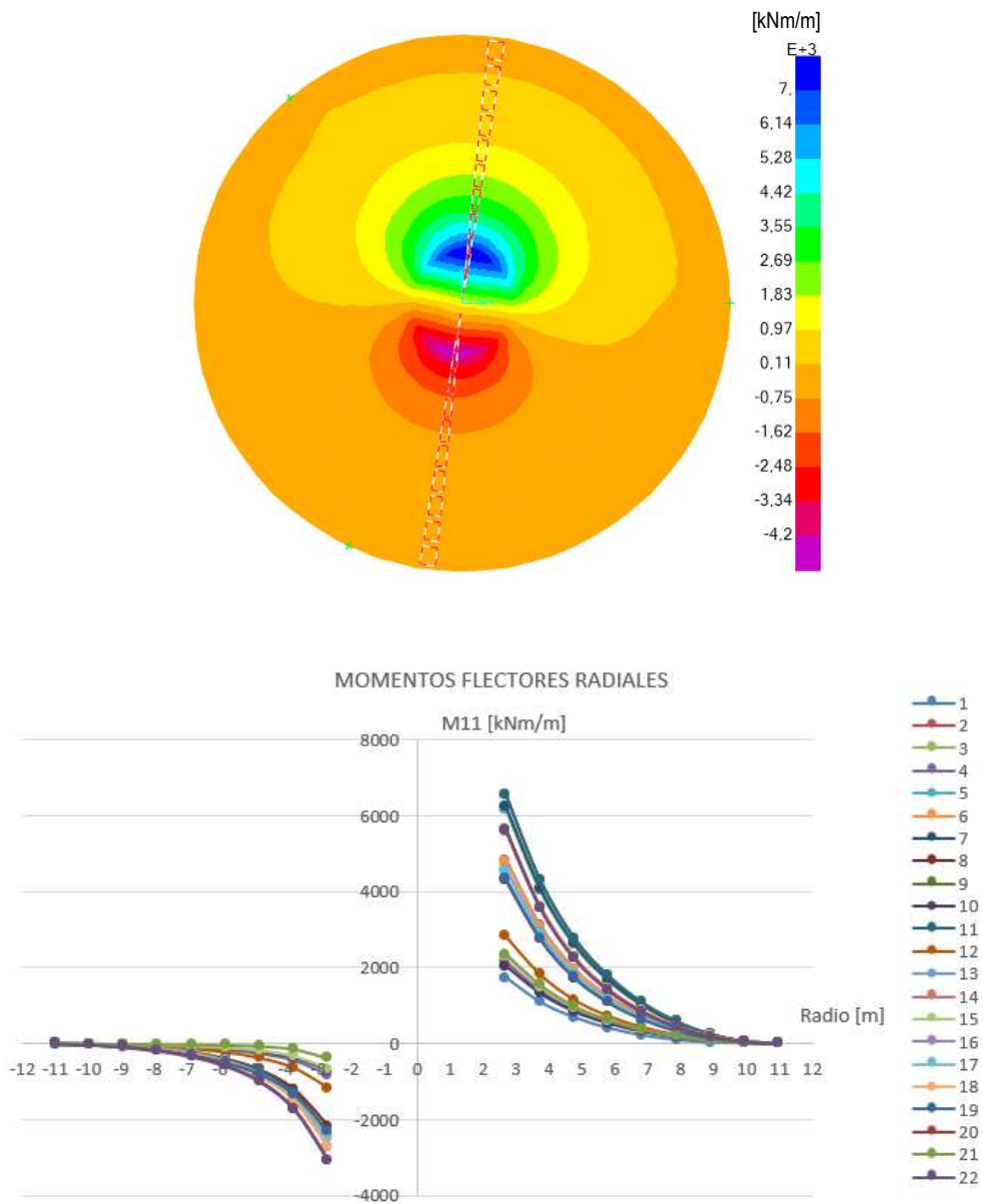


Figura N° 45 - Momentos de flexión radial M_{11} [kNm/m]

Como puede observarse en el gráfico anterior, los mayores momentos de tracción abajo (positivos) se dan en el estado de cargas 11.

A continuación, se presenta la tabla de dimensionado a diferentes radios.

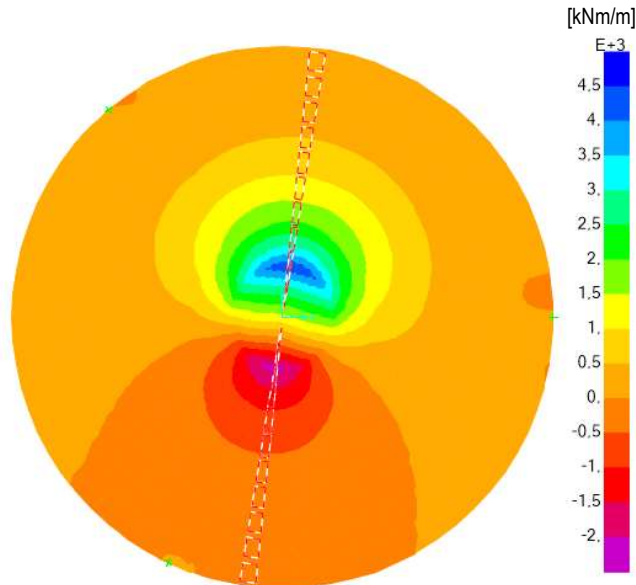
| Radio [m] | h [m] | b [m] | r [m] | d [m] | M _U [MNm/m] | N _U [MN/m] | Φ _F | A _s NEC [cm ² /m] | A _s ADOPT | A _s ADOPT [cm ² /m] | A _s MIN [cm ² /m] | VERIF |
|-----------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-----------------------|----------------|---|---------------------------------|---|---|-------|
| 2,7 | 2,40 | 1,00 | 0,10 | 2,30 | 6,517 | -1,045 | 0,90 | 63,34 | 1 Φ25 c/ 10cm + 1Φ 20 c/ 10cm | 80,50 | 76,58 | ok |
| 3,74 | 2,18 | 1,00 | 0,08 | 2,09 | 4,286 | -1,004 | 0,90 | 43,49 | 1 Φ25 c/ 14cm + 1Φ 20 c/ 13,5cm | 58,33 | 57,98 | ok |
| 4,78 | 1,95 | 1,00 | 0,10 | 1,85 | 2,765 | -0,753 | 0,90 | 29,47 | 1 Φ25 c/ 18cm + 1Φ 20 c/ 18cm | 44,72 | 39,29 | ok |
| 6,85 | 1,50 | 1,00 | 0,10 | 1,40 | 1,071 | -0,399 | 0,90 | 14,60 | 1 Φ25 c/ 25cm + 1Φ 20 c/ 25cm | 32,20 | 19,46 | ok |

Tabla N° 36 – Armadura radial inferior

5.1.2. CÁLCULO DEL ARMADO CIRCUNFERENCIAL INFERIOR

A continuación, se muestra el diagrama de momentos flectores M22, que es con el que se dimensionará esta armadura:

Nota: Los momentos positivos son de tracción abajo.





MOMENTOS FLECTORES CIRCUNFERENCIALES

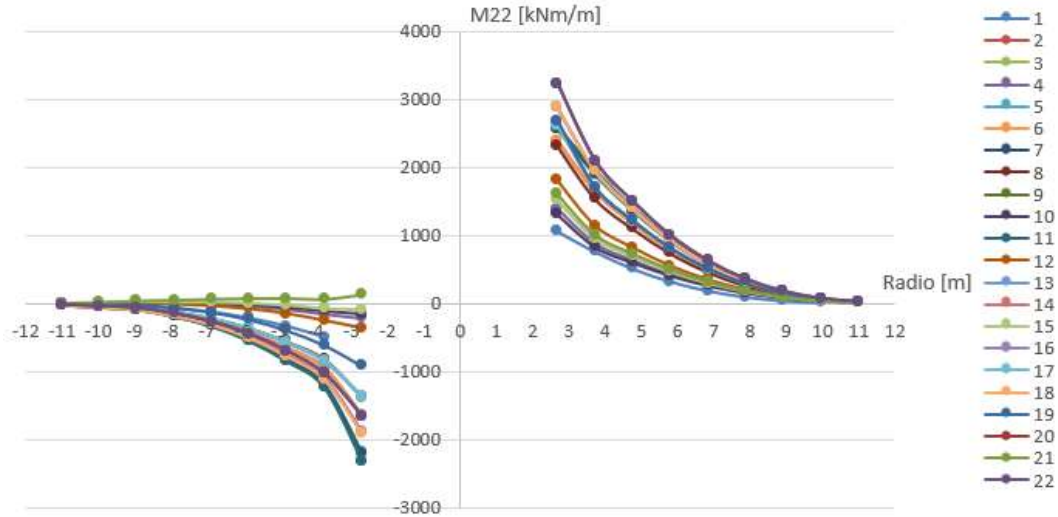


Figura N° 46 - Momentos de flexión circunferenciales M22 [kNm/m]

Como puede observarse en el gráfico anterior, los mayores momentos de tracción abajo (positivos) se dan en el estado de cargas 22.

A continuación, se presenta la tabla de dimensionado a diferentes radios.

| Radio [m] | h [m] | b [m] | r [m] | d [m] | M_U [MNm/m] | N_U [MN/m] | Φ_F | A_s NEC [cm ² /m] | A_s ADOPT | A_s ADOPT [cm ² /m] | A_s MIN [cm ² /m] | VERIF |
|-----------|-------|-------|-------|-------|---------------|--------------|----------|--------------------------------|---|----------------------------------|--------------------------------|-------|
| 2,7 | 2,40 | 1,00 | 0,08 | 2,30 | 3,198 | -1,017 | 0,90 | 21,88 | 1 Φ 25 c/ 15cm + 1 Φ 16 c/ 15cm | 46,13 | 29,17 | ok |
| 3,74 | 2,18 | 1,00 | 0,06 | 2,09 | 2,089 | -0,321 | 0,90 | 22,13 | 1 Φ 25 c/ 15cm | 32,72 | 29,50 | ok |
| 4,78 | 1,95 | 1,00 | 0,06 | 1,85 | 1,489 | -0,127 | 0,90 | 19,31 | 1 Φ 25 c/ 15cm | 32,72 | 25,74 | ok |
| 6,85 | 1,50 | 1,00 | 0,06 | 1,40 | 0,620 | 0,240 | 0,90 | 14,38 | 1 Φ 20 c/ 15cm | 20,94 | 19,17 | ok |

Tabla N° 37 – Armadura circunferencial inferior

5.2. ARMADURA SUPERIOR DE LA FUNDACIÓN

5.2.1. CÁLCULO DEL ARMADO RADIAL SUPERIOR

A continuación, se muestra el diagrama de momentos flectores M11, que es con el que se dimensionará esta armadura:

Nota: Los momentos positivos son de tracción abajo.

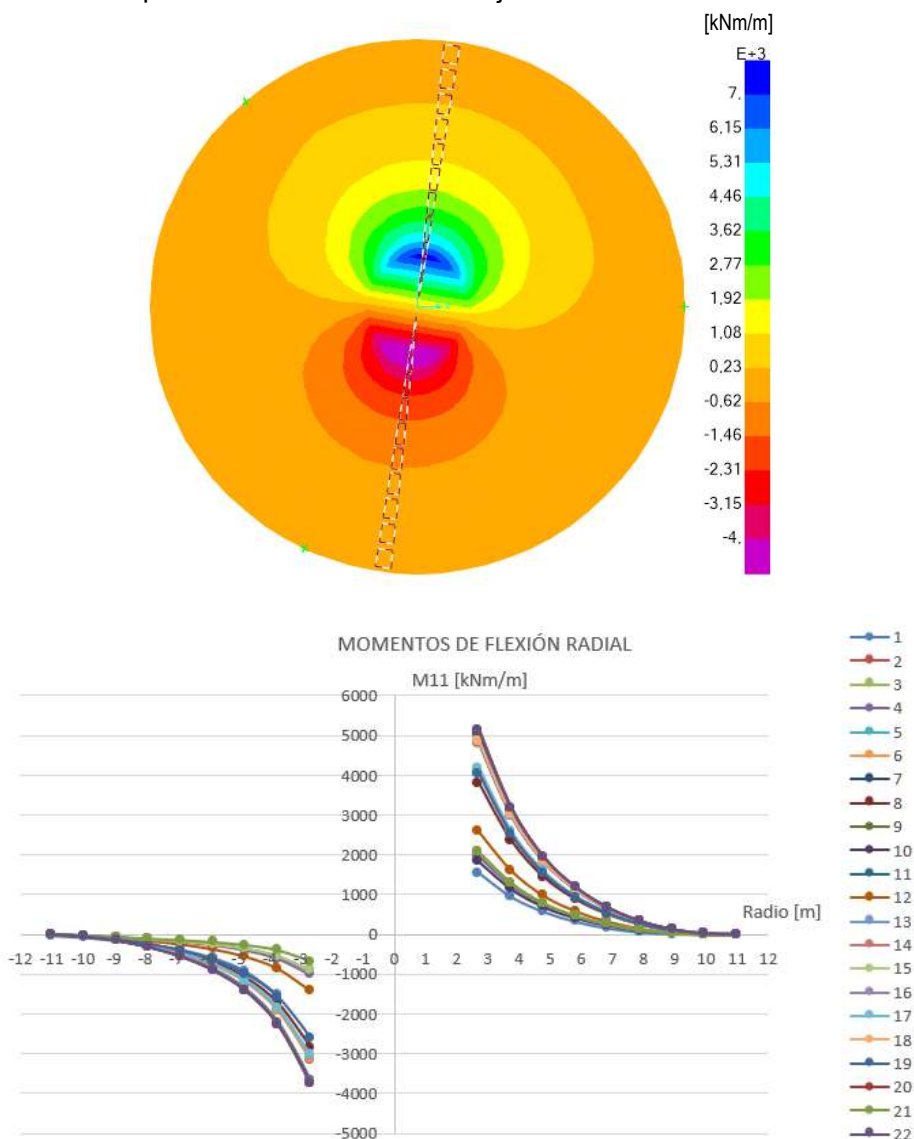


Figura N° 47 - Momentos de flexión radiales M11 [kNm/m]

Como puede observarse en el gráfico anterior, los mayores momentos de tracción arriba (negativos) se dan en el estado de cargas 22.

A continuación, se presenta la tabla de dimensionado a diferentes radios.

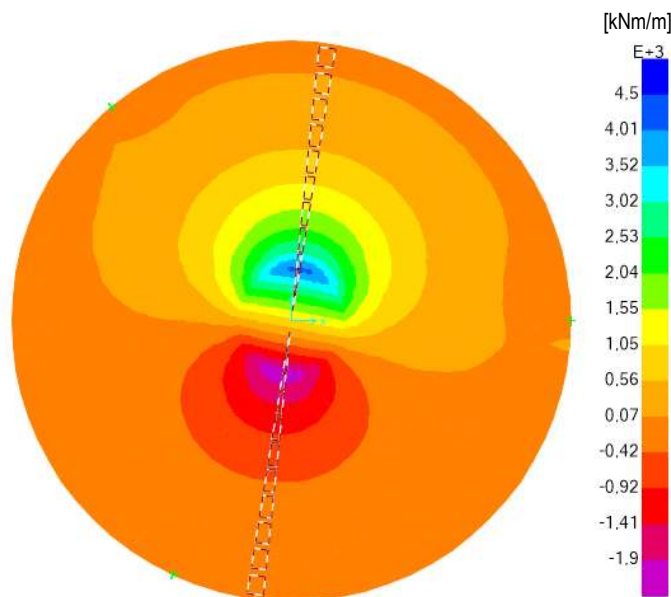
| Radio [m] | h [m] | b [m] | r [m] | d [m] | M _U [MNm/m] | N _U [MN/m] | Φ _F | A _s NEC [cm ² /m] | A _s ADOPT | A _s ADOPT [cm ² /m] | A _s MIN [cm ² /m] | VERIF |
|-----------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-----------------------|----------------|---|-------------------------------|---|---|-------|
| 2,7 | 2,40 | 1,00 | 0,08 | 2,32 | 3,725 | 0,355 | 0,90 | 47,67 | 1 Φ25 c/ 10cm + 1Φ 16 c/ 10cm | 69,19 | 63,56 | ok |
| 3,74 | 2,18 | 1,00 | 0,08 | 2,10 | 2,281 | 0,382 | 0,90 | 34,03 | 1 Φ25 c/ 14cm + 1Φ 16 c/ 14cm | 49,42 | 45,38 | ok |
| 4,78 | 1,95 | 1,00 | 0,08 | 1,87 | 1,431 | 0,283 | 0,90 | 23,93 | 1 Φ25 c/ 18cm + 1Φ 16 c/ 18cm | 38,44 | 31,91 | ok |
| 6,85 | 1,50 | 1,00 | 0,08 | 1,42 | 0,563 | 0,157 | 0,90 | 12,56 | 1 Φ25 c/ 25cm + 1Φ 16 c/ 25cm | 27,68 | 16,75 | ok |

Tabla N° 38 – Armadura radial superior

5.2.2. CÁLCULO DEL ARMADO CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR

A continuación, se muestra el diagrama de momentos flectores M₂₂, que es con el que se dimensionará esta armadura:

Nota: Los momentos positivos son de tracción abajo.



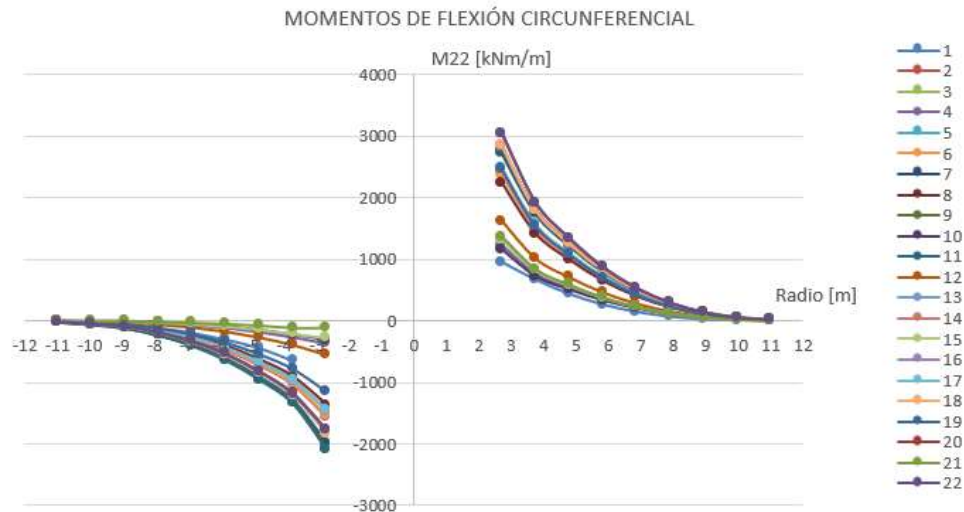


Figura N° 48 - Momentos de flexión circunferencial M22 [kNm/m]

Como puede observarse en el gráfico anterior, los mayores momentos de tracción arriba (negativos) se dan en el estado de cargas 11.

A continuación, se presenta la tabla de dimensionado a diferentes radios.

| Radio [m] | h [m] | b [m] | r [m] | d [m] | M _U [MNm/m] | N _U [MN/m] | Φ _F | A _s NEC [cm ² /m] | A _s ADOPT | A _s ADOPT [cm ² /m] | A _s MIN [cm ² /m] | VERIF |
|-----------|-------|-------|-------|-------|------------------------|-----------------------|----------------|---|-------------------------------|---|---|-------|
| 2,7 | 2,40 | 1,00 | 0,08 | 2,32 | 2,288 | 0,646 | 0,90 | 34,12 | 1 Φ25 c/ 15cm + 1Φ 16 c/ 15cm | 46,13 | 45,49 | ok |
| 3,74 | 2,18 | 1,00 | 0,06 | 2,12 | 1,343 | 0,326 | 0,90 | 21,22 | 1 Φ25 c/ 15cm | 32,72 | 28,30 | ok |
| 4,78 | 1,95 | 1,00 | 0,06 | 1,89 | 0,952 | 0,223 | 0,90 | 16,32 | 1 Φ25 c/ 15cm | 32,72 | 21,75 | ok |
| 6,85 | 1,50 | 1,00 | 0,06 | 1,44 | 0,404 | 0,000 | 0,90 | 7,45 | 1 Φ16 c/ 15cm | 13,40 | 9,93 | ok |

Tabla N° 39 – Armadura circunferencial superior

5.3. ARMADURA DE CORTE

La armadura de corte se calculará de acuerdo con lo especificado por el CIRSOC 201-2005 Cap. 11 [6].

5.3.1. ESFUERZOS INTERNOS

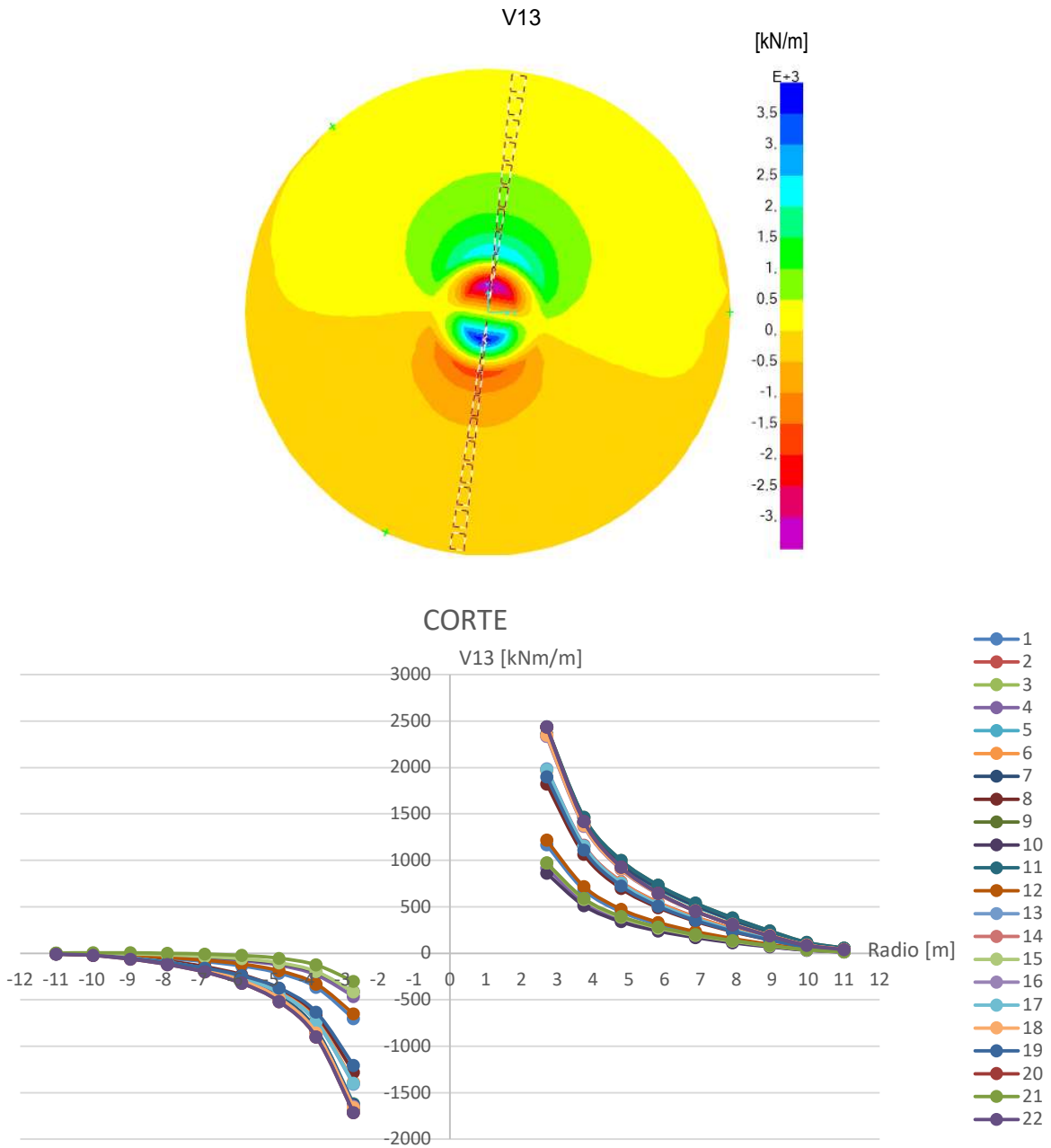


Figura N° 49 - Esfuerzos de corte V13

V23

[kN/m]

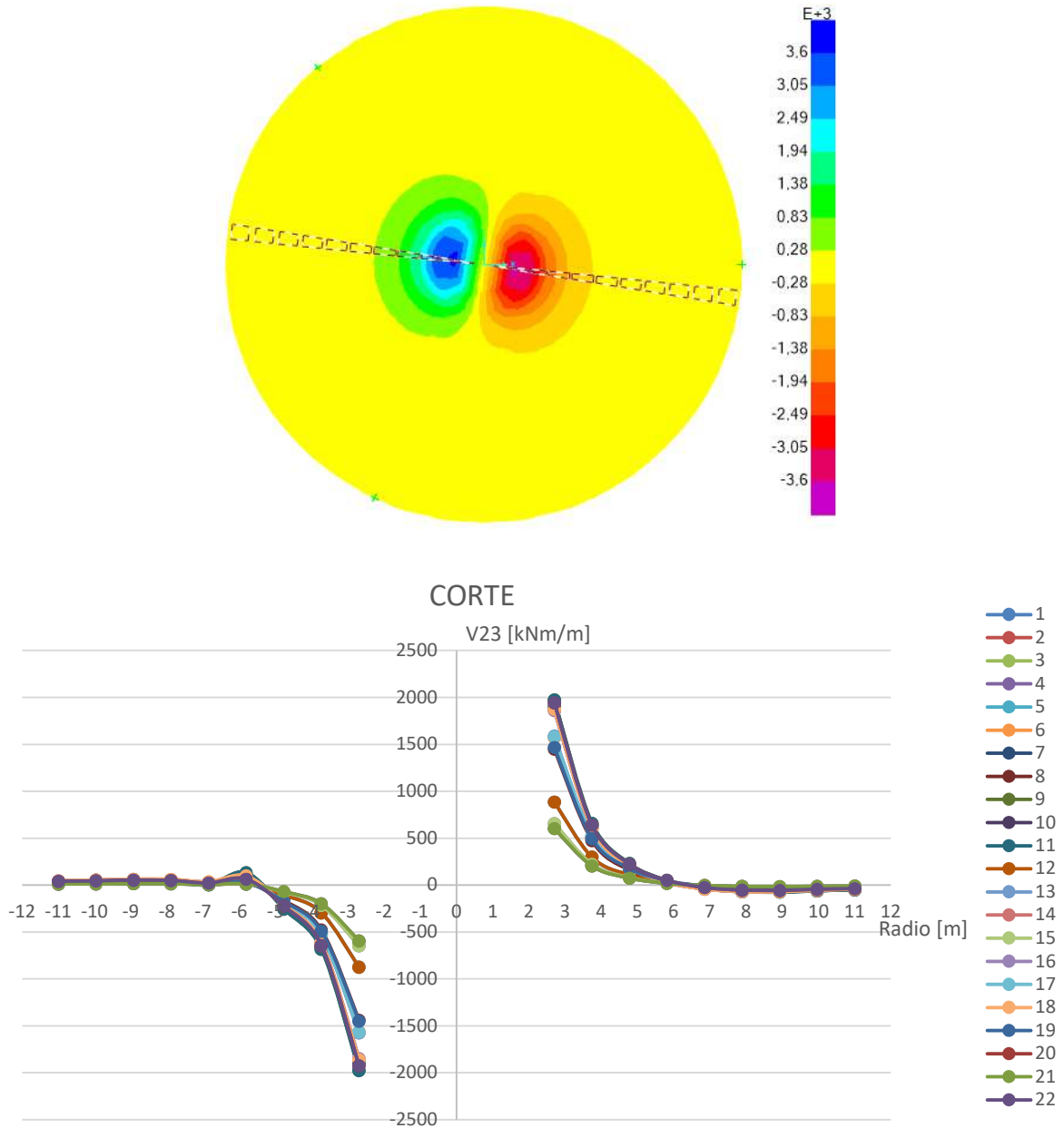


Figura N° 50 - Esfuerzo de corte V23

Las solicitaciones V12 y V23 deben corregirse como producto de la inclinación de la parte superior de la losa. Por lo tanto, el corte último se calculará como:

$$Vu_{12} = V_{12} - (M_{11}/z) \cdot \tan\alpha$$

$$Vu_{23} = V_{23} - (M_{22}/z) \cdot \tan\alpha$$

En ambos casos, el estado de carga que produce las mayores solicitaciones de corte es el estado de carga 22.

5.3.2. DIMENSIONAMIENTO AL CORTE

El dimensionamiento se realizará en las secciones indicadas en la siguiente tabla:

| Radio [m] | h [m] | b [m] | r [m] | d [m] | V _U [MN/m] | Φ _V | V _N [MN/m] | V _C [MN/m] | V _S [MN/m] | A _{sv} [cm ² /m] | A _{sv} MIN [cm ² /m] |
|-----------|-------|-------|-------|-------|-----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|--------------------------------------|--|
| 3,738 | 2,18 | 1,00 | 0,08 | 2,09 | 1,960 | 0,75 | 2,613 | 2,123 | 0,490 | 5,58 | 8,80 |
| 4,775 | 1,95 | 1,00 | 0,10 | 1,85 | 1,306 | 0,75 | 1,741 | 1,865 | -0,124 | 0,00 | 8,80 |
| 6,85 | 1,50 | 1,00 | 0,10 | 1,40 | 0,635 | 0,75 | 0,847 | 1,400 | -0,553 | 0,00 | 8,80 |

| Radio [m] | h [m] | b [m] | r [m] | d [m] | A _{ST} [cm ² /m] | sep _{MÁX} [cm] | Φ [mm] | sep [cm] | ramas | A _S ADOPT | A _S ADOPT [cm ² /m] |
|-----------|-------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------------------------|--------|----------|-------|----------------------|---|
| 3,738 | 2,18 | 1,00 | 0,08 | 2,09 | 8,80 | 40,00 | 20 | 30 | 1 | 1 Ø 20c/ 30 | 10,47 |
| 4,775 | 1,95 | 1,00 | 0,10 | 1,85 | 8,80 | 40,00 | 20 | 35 | 1 | 1 Ø 20c/ 35 | 8,98 |
| 6,85 | 1,50 | 1,00 | 0,10 | 1,40 | 8,80 | 40,00 | 20 | 35 | 1 | 1 Ø 20c/ 35 | 8,98 |

Tabla N° 40 – Armaduras de corte

5.4. COMPROBACIONES DE FISURACIÓN

La fisuración se controla limitando el espaciado entre las caras en tensión [6] Art. 10.6.4, no pudiendo exceder el siguiente valor:

$$s = 380 \left(\frac{280}{f_s} \right) - 2.5c_c \leq 300 \left(\frac{280}{f_s} \right)$$

Donde:

- c_c: es la distancia entre la superficie y la cara tensionada de la armadura.
- f_s: tensión actuante sobre las armaduras.

Las verificaciones de fisuración se llevan a cabo considerando las cargas operacionales.



Se espera que la resistencia en el hormigón se desarrolle más rápido que las tensiones debidas a la hidratación, efectos de contracción o eventos de operación extremas. Además, se adoptará cemento de endurecimiento lento con bajo calor de hidratación.

$$\begin{aligned}
 f_c &= && 35 \text{ MPa} \\
 r &= && 0,05 \text{ m} \\
 \beta_1 &= && 0,832
 \end{aligned}$$

Armadura radial inferior

| R [m] | Ms [MNm/m] | Ns [MN/m] | h [m] | Ø [mm] | As [cm ² /m] | σs [MPa/m] | smax [mm] | s [mm] | < smax ? |
|----------|---------------|--------------|----------|-----------|----------------------------|---------------|--------------|-----------|----------|
| 0,00 | 3,34 | -0,60 | 2,40 | 25;20 | 79,71 | 104,77 | 802 | 101 | ok |
| 0,20 | 3,09 | -0,59 | 2,36 | 25;20 | 74,20 | 103,91 | 808 | 109 | ok |
| 0,40 | 2,86 | -0,57 | 2,31 | 25;20 | 69,46 | 102,23 | 822 | 116 | ok |
| 0,60 | 2,64 | -0,55 | 2,27 | 25;20 | 65,24 | 100,00 | 840 | 123 | ok |
| 0,80 | 2,43 | -0,53 | 2,23 | 25;20 | 61,50 | 97,21 | 864 | 131 | ok |
| 1,00 | 2,23 | -0,51 | 2,18 | 25;20 | 58,21 | 93,87 | 895 | 138 | ok |
| 1,20 | 2,05 | -0,49 | 2,14 | 25;20 | 55,21 | 90,19 | 931 | 146 | ok |
| 1,40 | 1,88 | -0,47 | 2,10 | 25;20 | 52,51 | 86,18 | 975 | 153 | ok |
| 1,60 | 1,71 | -0,45 | 2,05 | 25;20 | 50,06 | 81,90 | 1026 | 161 | ok |
| 1,80 | 1,56 | -0,43 | 2,01 | 25;20 | 47,83 | 77,43 | 1085 | 168 | ok |
| 2,00 | 1,42 | -0,42 | 1,97 | 25;20 | 45,79 | 72,83 | 1153 | 176 | ok |
| 2,20 | 1,29 | -0,40 | 1,92 | 25;20 | 43,94 | 68,13 | 1233 | 92 | ok |
| 2,40 | 1,17 | -0,38 | 1,88 | 25;20 | 42,21 | 63,46 | 1324 | 95 | ok |
| 2,60 | 1,06 | -0,36 | 1,84 | 25;20 | 40,62 | 58,86 | 1427 | 99 | ok |
| 2,80 | 0,95 | -0,34 | 1,79 | 25;20 | 39,14 | 54,36 | 1545 | 103 | ok |
| 3,00 | 0,86 | -0,32 | 1,75 | 25;20 | 37,76 | 50,02 | 1679 | 107 | ok |
| 3,20 | 0,77 | -0,30 | 1,71 | 25;20 | 36,49 | 45,87 | 1831 | 110 | ok |
| 3,40 | 0,69 | -0,28 | 1,66 | 25;20 | 35,29 | 42,00 | 2000 | 114 | ok |
| 3,60 | 0,62 | -0,27 | 1,62 | 25;20 | 34,17 | 38,42 | 2186 | 118 | ok |
| 3,80 | 0,55 | -0,25 | 1,58 | 25;20 | 33,12 | 35,16 | 2389 | 122 | ok |
| 4,00 | 0,49 | -0,23 | 1,53 | 25;20 | 32,14 | 32,25 | 2604 | 125 | ok |
| 4,20 | 0,44 | -0,21 | 1,49 | 25;20 | 31,20 | 29,74 | 2825 | 129 | ok |
| 4,40 | 0,39 | -0,20 | 1,45 | 25;20 | 30,32 | 27,62 | 3042 | 133 | ok |
| 4,60 | 0,35 | -0,18 | 1,40 | 25;20 | 29,49 | 25,91 | 3242 | 137 | ok |
| 4,80 | 0,31 | -0,17 | 1,36 | 25;20 | 28,70 | 24,61 | 3414 | 140 | ok |
| 5,00 | 0,27 | -0,15 | 1,32 | 25;20 | 27,95 | 23,71 | 3542 | 144 | ok |
| 5,20 | 0,24 | -0,14 | 1,27 | 25;20 | 27,25 | 23,20 | 3621 | 148 | ok |
| 5,40 | 0,22 | -0,12 | 1,23 | 25;20 | 26,58 | 23,04 | 3645 | 151 | ok |
| 5,60 | 0,19 | -0,11 | 1,19 | 25;20 | 25,94 | 23,21 | 3620 | 155 | ok |
| 5,80 | 0,17 | -0,10 | 1,14 | 25;20 | 25,33 | 23,61 | 3558 | 159 | ok |
| 6,00 | 0,15 | -0,09 | 1,10 | 25;20 | 24,74 | 24,20 | 3471 | 163 | ok |
| 6,20 | 0,14 | -0,07 | 1,06 | 25;20 | 24,19 | 24,84 | 3381 | 166 | ok |
| 6,40 | 0,12 | -0,06 | 1,01 | 25;20 | 23,66 | 25,42 | 3304 | 170 | ok |
| 6,60 | 0,11 | -0,06 | 0,97 | 25;20 | 23,15 | 25,76 | 3261 | 174 | ok |
| 6,80 | 0,09 | -0,05 | 0,93 | 25;20 | 22,66 | 25,65 | 3275 | 178 | ok |
| 7,00 | 0,08 | -0,04 | 0,88 | 25;20 | 22,19 | 24,80 | 3387 | 181 | ok |
| 7,20 | 0,07 | -0,03 | 0,84 | 25;20 | 21,75 | 22,88 | 3671 | 185 | ok |
| 7,40 | 0,05 | -0,03 | 0,80 | 25;20 | 21,31 | 19,47 | 4315 | 189 | ok |
| 7,60 | 0,04 | -0,02 | 0,75 | 25;20 | 20,90 | 14,00 | 5999 | 193 | ok |
| 7,80 | 0,02 | -0,02 | 0,71 | 25;20 | 20,50 | 5,78 | 14537 | 196 | ok |
| 8,00 | 0,02 | -0,02 | 0,67 | 25;20 | 20,12 | 7,87 | 10670 | 200 | ok |
| 8,20 | 0,02 | -0,02 | 0,62 | 25;20 | 19,75 | 9,96 | 8435 | 204 | ok |

Tabla Nº 41 - Verificación de armadura radial inferior

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

Armadura radial superior



| R [m] | Ms [MNm/m] | Ns [MN/m] | h [m] | Ø [mm] | As [cm ² /m] | σs [MPa/m] | smax [mm] | s [mm] | < smax ? |
|----------|---------------|--------------|----------|-----------|----------------------------|---------------|--------------|-----------|----------|
| 0,00 | 1,92 | 0,11 | 2,40 | 25;16 | 68,51 | 135,64 | 619 | 51 | ok |
| 0,20 | 1,76 | 0,13 | 2,36 | 25;16 | 63,77 | 140,28 | 599 | 54 | ok |
| 0,40 | 1,61 | 0,14 | 2,31 | 25;16 | 59,70 | 143,10 | 587 | 58 | ok |
| 0,60 | 1,47 | 0,14 | 2,27 | 25;16 | 56,07 | 144,50 | 581 | 62 | ok |
| 0,80 | 1,34 | 0,15 | 2,23 | 25;16 | 52,86 | 144,51 | 581 | 65 | ok |
| 1,00 | 1,22 | 0,14 | 2,18 | 25;16 | 50,03 | 143,21 | 587 | 69 | ok |
| 1,20 | 1,11 | 0,14 | 2,14 | 25;16 | 47,46 | 140,98 | 596 | 73 | ok |
| 1,40 | 1,00 | 0,13 | 2,10 | 25;16 | 45,14 | 137,91 | 609 | 77 | ok |
| 1,60 | 0,90 | 0,12 | 2,05 | 25;16 | 43,03 | 134,16 | 626 | 80 | ok |
| 1,80 | 0,81 | 0,12 | 2,01 | 25;16 | 41,11 | 129,89 | 647 | 84 | ok |
| 2,00 | 0,73 | 0,11 | 1,97 | 25;16 | 39,36 | 125,26 | 671 | 88 | ok |
| 2,20 | 0,66 | 0,10 | 1,92 | 25;16 | 37,77 | 120,33 | 698 | 92 | ok |
| 2,40 | 0,59 | 0,10 | 1,88 | 25;16 | 36,28 | 115,36 | 728 | 95 | ok |
| 2,60 | 0,52 | 0,09 | 1,84 | 25;16 | 34,91 | 110,36 | 761 | 99 | ok |
| 2,80 | 0,47 | 0,09 | 1,79 | 25;16 | 33,64 | 105,42 | 797 | 103 | ok |
| 3,00 | 0,41 | 0,08 | 1,75 | 25;16 | 32,45 | 100,59 | 835 | 107 | ok |
| 3,20 | 0,37 | 0,08 | 1,71 | 25;16 | 31,37 | 95,90 | 876 | 110 | ok |
| 3,40 | 0,33 | 0,07 | 1,66 | 25;16 | 30,33 | 91,45 | 919 | 114 | ok |
| 3,60 | 0,29 | 0,07 | 1,62 | 25;16 | 29,37 | 87,23 | 963 | 118 | ok |
| 3,80 | 0,26 | 0,07 | 1,58 | 25;16 | 28,46 | 83,24 | 1009 | 122 | ok |
| 4,00 | 0,23 | 0,06 | 1,53 | 25;16 | 27,62 | 79,47 | 1057 | 125 | ok |
| 4,20 | 0,20 | 0,06 | 1,49 | 25;16 | 26,82 | 75,98 | 1106 | 129 | ok |
| 4,40 | 0,18 | 0,06 | 1,45 | 25;16 | 26,06 | 72,73 | 1155 | 133 | ok |
| 4,60 | 0,17 | 0,05 | 1,40 | 25;16 | 25,35 | 69,73 | 1205 | 137 | ok |
| 4,80 | 0,15 | 0,05 | 1,36 | 25;16 | 24,67 | 66,98 | 1254 | 140 | ok |
| 5,00 | 0,14 | 0,05 | 1,32 | 25;16 | 24,03 | 64,47 | 1303 | 144 | ok |
| 5,20 | 0,13 | 0,04 | 1,27 | 25;16 | 23,42 | 62,18 | 1351 | 148 | ok |
| 5,40 | 0,12 | 0,04 | 1,23 | 25;16 | 22,84 | 60,17 | 1396 | 151 | ok |
| 5,60 | 0,11 | 0,04 | 1,19 | 25;16 | 22,29 | 58,40 | 1438 | 155 | ok |
| 5,80 | 0,10 | 0,03 | 1,14 | 25;16 | 21,77 | 56,85 | 1478 | 159 | ok |
| 6,00 | 0,09 | 0,03 | 1,10 | 25;16 | 21,26 | 55,55 | 1512 | 163 | ok |
| 6,20 | 0,09 | 0,02 | 1,06 | 25;16 | 20,79 | 54,41 | 1544 | 166 | ok |
| 6,40 | 0,08 | 0,02 | 1,01 | 25;16 | 20,33 | 53,39 | 1573 | 170 | ok |
| 6,60 | 0,08 | 0,02 | 0,97 | 25;16 | 19,89 | 52,39 | 1603 | 174 | ok |
| 6,80 | 0,07 | 0,02 | 0,93 | 25;16 | 19,47 | 51,24 | 1639 | 178 | ok |
| 7,00 | 0,07 | 0,02 | 0,88 | 25;16 | 19,07 | 49,70 | 1690 | 181 | ok |
| 7,20 | 0,06 | 0,02 | 0,84 | 25;16 | 18,69 | 47,41 | 1772 | 185 | ok |
| 7,40 | 0,05 | 0,02 | 0,80 | 25;16 | 18,32 | 43,93 | 1912 | 189 | ok |
| 7,60 | 0,04 | 0,02 | 0,75 | 25;16 | 17,96 | 38,57 | 2178 | 193 | ok |
| 7,80 | 0,02 | 0,02 | 0,71 | 25;16 | 17,62 | 30,45 | 2759 | 196 | ok |
| 8,00 | 0,01 | 0,00 | 0,67 | 25;16 | 17,29 | 7,83 | 10728 | 200 | ok |
| 8,20 | 0,01 | 0,00 | 0,62 | 25;16 | 16,98 | 10,30 | 8158 | 204 | ok |

Tabla N° 42 – Armadura radial superior

Armadura circunferencial inferior

| R [m] | Ms [MNm/m] | Ns [MN/m] | h [m] | Ø [mm] | As [cm ² /m] | σs [MPa/m] | smax [mm] | s [mm] | < smax ? |
|----------|---------------|--------------|----------|-----------|----------------------------|---------------|--------------|-----------|----------|
| 0,00 | 2,03 | -0,59 | 2,40 | 25; 16 | 46,13 | 61,23 | 1372 | 75 | ok |
| 0,10 | 1,96 | -0,55 | 2,38 | 25; 16 | 46,13 | 64,04 | 1312 | 75 | ok |
| 0,20 | 1,90 | -0,52 | 2,36 | 25; 16 | 46,13 | 66,70 | 1259 | 75 | ok |
| 0,30 | 1,83 | -0,49 | 2,33 | 25; 16 | 46,13 | 69,23 | 1213 | 75 | ok |
| 0,40 | 1,77 | -0,46 | 2,31 | 25; 16 | 46,13 | 71,62 | 1173 | 75 | ok |
| 0,60 | 1,64 | -0,40 | 2,27 | 25; 16 | 46,13 | 76,00 | 1105 | 75 | ok |
| 0,80 | 1,53 | -0,34 | 2,23 | 25; 16 | 46,13 | 79,88 | 1052 | 75 | ok |
| 1,00 | 1,42 | -0,28 | 2,18 | 25; 16 | 46,13 | 83,29 | 1009 | 75 | ok |
| 1,20 | 1,31 | -0,23 | 2,14 | 25,00 | 32,72 | 121,56 | 691 | 150 | ok |
| 1,40 | 1,22 | -0,19 | 2,10 | 25,00 | 32,72 | 125,12 | 671 | 150 | ok |
| 1,60 | 1,12 | -0,15 | 2,05 | 25,00 | 32,72 | 128,10 | 656 | 150 | ok |
| 1,80 | 1,04 | -0,11 | 2,01 | 25,00 | 32,72 | 130,56 | 643 | 150 | ok |
| 2,00 | 0,96 | -0,07 | 1,97 | 25,00 | 32,72 | 132,52 | 634 | 150 | ok |
| 2,20 | 0,88 | -0,03 | 1,92 | 25,00 | 32,72 | 134,02 | 627 | 150 | ok |
| 2,40 | 0,81 | 0,00 | 1,88 | 25,00 | 32,72 | 135,10 | 622 | 150 | ok |
| 2,60 | 0,74 | 0,03 | 1,84 | 25,00 | 32,72 | 135,78 | 619 | 150 | ok |
| 2,80 | 0,68 | 0,05 | 1,79 | 25,00 | 32,72 | 136,10 | 617 | 150 | ok |
| 3,00 | 0,62 | 0,08 | 1,75 | 25,00 | 32,72 | 136,10 | 617 | 150 | ok |
| 3,20 | 0,57 | 0,10 | 1,71 | 25,00 | 32,72 | 135,80 | 619 | 150 | ok |
| 3,40 | 0,52 | 0,12 | 1,66 | 25,00 | 32,72 | 135,25 | 621 | 150 | ok |
| 3,60 | 0,48 | 0,14 | 1,62 | 25,00 | 32,72 | 134,46 | 625 | 150 | ok |
| 3,80 | 0,43 | 0,15 | 1,58 | 25,00 | 32,72 | 133,48 | 629 | 150 | ok |
| 4,00 | 0,40 | 0,17 | 1,53 | 25,00 | 32,72 | 132,33 | 635 | 150 | ok |
| 4,20 | 0,36 | 0,18 | 1,49 | 25,00 | 32,72 | 131,03 | 641 | 150 | ok |
| 4,40 | 0,33 | 0,19 | 1,45 | 25,00 | 32,72 | 129,63 | 648 | 150 | ok |
| 4,60 | 0,30 | 0,20 | 1,40 | 25,00 | 32,72 | 128,13 | 656 | 150 | ok |
| 4,80 | 0,27 | 0,21 | 1,36 | 25,00 | 32,72 | 126,57 | 664 | 150 | ok |
| 5,00 | 0,24 | 0,22 | 1,32 | 25,00 | 32,72 | 124,97 | 672 | 150 | ok |
| 5,20 | 0,22 | 0,22 | 1,27 | 25,00 | 32,72 | 123,35 | 681 | 150 | ok |
| 5,40 | 0,20 | 0,23 | 1,23 | 25,00 | 32,72 | 121,72 | 690 | 150 | ok |
| 5,60 | 0,18 | 0,23 | 1,19 | 25,00 | 32,72 | 120,10 | 699 | 150 | ok |
| 5,80 | 0,16 | 0,24 | 1,14 | 25,00 | 32,72 | 118,49 | 709 | 150 | ok |
| 6,00 | 0,15 | 0,24 | 1,10 | 25,00 | 32,72 | 116,90 | 719 | 150 | ok |
| 6,20 | 0,13 | 0,24 | 1,06 | 25,00 | 32,72 | 115,33 | 728 | 150 | ok |
| 6,40 | 0,12 | 0,25 | 1,01 | 20,00 | 20,94 | 177,76 | 473 | 150 | ok |
| 6,60 | 0,11 | 0,25 | 0,97 | 20,00 | 20,94 | 175,30 | 479 | 150 | ok |
| 6,80 | 0,09 | 0,26 | 0,93 | 20,00 | 20,94 | 172,78 | 486 | 150 | ok |
| 7,00 | 0,08 | 0,26 | 0,88 | 20,00 | 20,94 | 170,12 | 494 | 150 | ok |
| 7,20 | 0,07 | 0,26 | 0,84 | 20,00 | 20,94 | 167,23 | 502 | 150 | ok |
| 7,40 | 0,06 | 0,27 | 0,80 | 20,00 | 20,94 | 163,97 | 512 | 150 | ok |
| 7,60 | 0,04 | 0,27 | 0,75 | 20,00 | 20,94 | 160,16 | 524 | 150 | ok |
| 7,80 | 0,03 | 0,28 | 0,71 | 20,00 | 20,94 | 155,55 | 540 | 150 | ok |

Tabla Nº 43 – Armadura circunferencial inferior

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

Armadura circunferencial superior

| R [m] | Ms [MNm/m] | Ns [MN/m] | h [m] | Ø [mm] | As [cm ² /m] | σs [MPa/m] | smax [mm] | s [mm] | < smax ? |
|----------|---------------|--------------|----------|-----------|----------------------------|---------------|--------------|-----------|----------|
| 0,00 | 0,83 | 0,37 | 2,40 | 25; 16 | 46,13 | 155,84 | 539 | 75 | ok |
| 0,20 | 0,77 | 0,31 | 2,36 | 25; 16 | 46,13 | 139,80 | 601 | 75 | ok |
| 0,40 | 0,71 | 0,27 | 2,31 | 25; 16 | 46,13 | 126,92 | 662 | 75 | ok |
| 0,60 | 0,66 | 0,24 | 2,27 | 25; 16 | 46,13 | 116,53 | 721 | 75 | ok |
| 0,80 | 0,62 | 0,22 | 2,23 | 25; 16 | 46,13 | 108,04 | 777 | 75 | ok |
| 1,00 | 0,57 | 0,20 | 2,18 | 25; 16 | 46,13 | 101,00 | 832 | 75 | ok |
| 1,20 | 0,53 | 0,19 | 2,14 | 25; 16 | 46,13 | 95,00 | 884 | 75 | ok |
| 1,40 | 0,48 | 0,18 | 2,10 | 25; 16 | 46,13 | 89,74 | 936 | 75 | ok |
| 1,60 | 0,45 | 0,17 | 2,05 | 25,00 | 32,72 | 119,77 | 701 | 150 | ok |
| 1,80 | 0,41 | 0,16 | 2,01 | 25,00 | 32,72 | 113,47 | 740 | 150 | ok |
| 2,00 | 0,38 | 0,16 | 1,97 | 25,00 | 32,72 | 107,41 | 782 | 150 | ok |
| 2,20 | 0,34 | 0,15 | 1,92 | 25,00 | 32,72 | 101,45 | 828 | 150 | ok |
| 2,40 | 0,31 | 0,14 | 1,88 | 25,00 | 32,72 | 95,50 | 880 | 150 | ok |
| 2,60 | 0,28 | 0,13 | 1,84 | 25,00 | 32,72 | 89,53 | 938 | 150 | ok |
| 2,80 | 0,26 | 0,12 | 1,79 | 25,00 | 32,72 | 83,53 | 1006 | 150 | ok |
| 3,00 | 0,23 | 0,12 | 1,75 | 25,00 | 32,72 | 77,52 | 1084 | 150 | ok |
| 3,20 | 0,21 | 0,11 | 1,71 | 25,00 | 32,72 | 71,52 | 1174 | 150 | ok |
| 3,40 | 0,19 | 0,10 | 1,66 | 25,00 | 32,72 | 65,59 | 1281 | 150 | ok |
| 3,60 | 0,17 | 0,09 | 1,62 | 25,00 | 32,72 | 59,79 | 1405 | 150 | ok |
| 3,80 | 0,15 | 0,08 | 1,58 | 25,00 | 32,72 | 54,15 | 1551 | 150 | ok |
| 4,00 | 0,14 | 0,07 | 1,53 | 25,00 | 32,72 | 48,74 | 1723 | 150 | ok |
| 4,20 | 0,12 | 0,06 | 1,49 | 25,00 | 32,72 | 43,61 | 1926 | 150 | ok |
| 4,40 | 0,11 | 0,05 | 1,45 | 25,00 | 32,72 | 38,77 | 2166 | 150 | ok |
| 4,60 | 0,10 | 0,04 | 1,40 | 25,00 | 32,72 | 34,27 | 2451 | 150 | ok |
| 4,80 | 0,09 | 0,03 | 1,36 | 25,00 | 32,72 | 30,11 | 2789 | 150 | ok |
| 5,00 | 0,08 | 0,03 | 1,32 | 25,00 | 32,72 | 26,30 | 3194 | 150 | ok |
| 5,20 | 0,07 | 0,02 | 1,27 | 25,00 | 32,72 | 22,81 | 3683 | 150 | ok |
| 5,40 | 0,06 | 0,01 | 1,23 | 25,00 | 32,72 | 19,62 | 4282 | 150 | ok |
| 5,60 | 0,05 | 0,01 | 1,19 | 25,00 | 32,72 | 16,69 | 5033 | 150 | ok |
| 5,80 | 0,05 | 0,00 | 1,14 | 25,00 | 32,72 | 13,98 | 6010 | 150 | ok |
| 6,00 | 0,04 | 0,00 | 1,10 | 25,00 | 32,72 | 11,43 | 7351 | 150 | ok |
| 6,20 | 0,04 | -0,01 | 1,06 | 25,00 | 32,72 | 8,98 | 9350 | 150 | ok |
| 6,40 | 0,03 | -0,01 | 1,01 | 25,00 | 32,72 | 6,59 | 12741 | 150 | ok |
| 6,60 | 0,03 | -0,02 | 0,97 | 25,00 | 32,72 | 4,21 | 19965 | 150 | ok |
| 6,80 | 0,02 | -0,02 | 0,93 | 20,00 | 20,94 | 2,80 | 30012 | 150 | ok |
| 7,00 | 0,02 | 0,00 | 0,88 | 20,00 | 20,94 | 11,97 | 7017 | 150 | ok |
| 7,20 | 0,02 | 0,00 | 0,84 | 20,00 | 20,94 | 11,04 | 7609 | 150 | ok |
| 7,40 | 0,02 | 0,00 | 0,80 | 20,00 | 20,94 | 10,15 | 8277 | 150 | ok |
| 7,60 | 0,01 | 0,00 | 0,75 | 20,00 | 20,94 | 9,26 | 9075 | 150 | ok |
| 7,80 | 0,01 | 0,00 | 0,71 | 20,00 | 20,94 | 8,31 | 10107 | 150 | ok |
| 8,00 | 0,01 | 0,00 | 0,67 | 20,00 | 20,94 | 7,24 | 11595 | 150 | ok |
| 8,20 | 0,01 | 0,00 | 0,62 | 20,00 | 20,94 | 5,97 | 14076 | 150 | ok |

Tabla N° 44 – Armadura circunferencial superior

5.5. COMPROBACIONES DE LA INTERFAZ

Para el cálculo de la interfaz se han considerado distintos estados de carga, aplicando diferentes factores de seguridad y condiciones de pérdidas. El caso de cargas 1 y 2 estudia el estado límite en servicio (descompresión). El estado último se estudia para todos los casos de cargas extremas.

| | Caso de carga | | Cargas | Myz SF | Fx SF | Pret. SF | Pérdidas |
|-----|---------------|---------|--------------|--------|-------|----------|----------|
| ELS | 1 | TABLA 8 | Operación | 1 | 1 | 0,95 | CP+LP |
| | 2 | TABLA 8 | Operación | 1 | 1 | 1,05 | CP |
| ELU | 3 | TABLA3 | E. Normales | 1,35 | 0,9 | 1 | CP+LP |
| | 4 | TABLA3 | E. Normales | 1,35 | 1,35 | 1 | CP+LP |
| | 5 | TABLA3 | E. Normales | 1,35 | 0,9 | 1,2 | CP |
| | 6 | TABLA3 | E. Normales | 1,35 | 1,35 | 1,2 | CP |
| | 3 | TABLA 2 | E. Anormales | 1,1 | 0,9 | 1 | CP+LP |
| | 4 | TABLA 2 | E. Anormales | 1,1 | 1,1 | 1 | CP+LP |
| | 5 | TABLA 2 | E. Anormales | 1,1 | 0,9 | 1,2 | CP |
| | 6 | TABLA 2 | E. Anormales | 1,1 | 1,1 | 1,2 | CP |

NOTA: CP: Pérdidas Instantáneas; LP: Pérdidas diferidas

Tabla N° 45 – Casos de carga para el diseño de la interfaz

La interfaz consiste en una jaula de pernos (84x2 pernos M39), que unen la torre a la fundación.

La interfaz de la fundación tiene las siguientes propiedades:

Inercia de la Interfaz: $I = \sum_{m=i}^n A_m d_m^2 = 0.4291 \text{ m}^4$

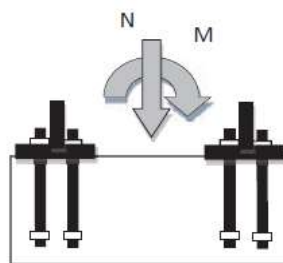


Figura N° 51 - Esquema de Interfaz - Jaula de Pernos



5.5.1. COMPROBACIÓN DEL ESTADO LÍMITE DE DESCOMPRESIÓN (SERVICIO)

La pérdida de pretensado puede caracterizarse como pérdida instantánea y pérdida dependiente del tiempo (largo plazo). Las pérdidas debidas a las operaciones de tesado, fricción y acortamiento elástico son instantáneas. Pérdidas debidas a retracción, fluencia y relajación son pérdidas dependientes del tiempo (largo plazo).

$$\Delta P_{pT} = \Delta P_{INST} + \Delta P_{DIF}$$

ΔP_{INST} : Pérdidas instantáneas (por fricción, en anclajes y acortamiento elástico)

ΔP_{DIF} : Pérdidas diferidas (debidas a la retracción, fluencia y relajación)

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |



El tesado de los pernos de anclaje se realizará de acuerdo con las especificaciones proporcionadas por el tecnólogo [12]. La fuerza de pretensado inicial especificada es 600 kN de acuerdo con la referencia [12]. A continuación, se verificará dicha carga inicial de pretensado considerando las pérdidas correspondientes.

| <u>Dimensiones</u> | | L/C 1 | L/C 2 |
|---|--|-------------------------|-------------------------|
| Radio medio de la jaula | R = | 2,07 m | 2,07 m |
| Ancho del anillo | e = | 0,43 m | 0,43 m |
| Separación entre pernos | a = | 0,25 m | 0,25 m |
| Inercia del anillo de apoyo | Ianillo = | 11,97 m ⁴ | 11,97 m ⁴ |
| Área del anillo | Aanillo = | 5,55 m ² | 5,55 m ² |
| <u>Análisis de cargas de pretensado</u> | | | |
| Carga de pretensado inicial | P ₀ = | 600,00 kN | 600,00 kN |
| Pérdidas Instantáneas | ΔP _{INST} = | 63,39 kN | 63,39 kN |
| Pérdidas diferidas | ΔP _{DIF} = | 119,53 kN | 0,00 kN |
| Pérdidas totales | ΔP _T = ΔP _{INST} + ΔP _{DIF} = | 182,92 kN | 63,39 kN |
| Carga de pretensado con las pérdidas | P _i = | 417,08 kN | 536,61 kN |
| <u>Pernos</u> | | | |
| Coefficiente de seguridad de pretensado | γ _f = | 0,95 | 1,05 |
| Número de pernos | Nº pernos = | 84 | 84 |
| Número de filas | Nº filas = | 2 | 2 |
| Ángulo entre filas | α = | 7,49E-02 rad | 7,48E-02 rad |
| Largo de la jaula | L = | 2,95 m | 2,95 m |
| Diámetro del perno | Øperno = | 39 mm | 39 mm |
| Diámetro del agujero | Øagujero = | 45 mm | 45 mm |
| Área del perno | Aperno = | 9,76E-04 m ² | 9,76E-04 m ² |
| Resistencia del perno a la fluencia | f _{pk} = | 832 MPa | 832 MPa |
| Fuerza máxima de tesado en 1 perno | T _{max,1perno} = | 0,81 MN | 0,81 MN |
| Tensión de tesado | σ _p = P _i / Aperno = | 427,4 MPa | 549,9 MPa |
| Fuerza de pretensado en 1 solo perno | P _{1perno} = γ _f σ _p Aperno = | 0,40 MN | 0,56 MN |
| Fuerza total de pretensado | P = P _{1perno} · N tot pernos = | 66,57 MN | 94,66 MN |
| Porcentaje de pretensado respecto a la fluencia | % Pretensado | 51,38% | 66,10% |
| <u>Fuerzas</u> | | | |
| Estado de cargas | L/C = | 1 | 2 |
| Momento diagonal | M _{diagonal} = | 70,5 MNm | 70,5 MNm |
| Normal diagonal | N _{diagonal} = | 4,35 MN | 4,35 MN |
| Pretensado | P = | 66,57 MN | 94,66 MN |
| Momento Normal | M _{cdg} = | 70,5 MNm | 70,5 MNm |
| Normal | N _{cdg} = | 4,35 MN | 4,35 MN |

Fuerzas sobre la interfaz de hormigón o grout

Si T_c < 0, entonces la fuerza de tracción actuante superó la fuerza de pretensado adoptada. Es decir, hay descompresión.

Si T_c > 0 entonces la fuerza de pretensado es suficiente para que no se despegue la brida de la torre.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | | | |
|--|--|------------|-------------------|
| Fuerza mínima por unidad de longitud en el radio de la jaula | $T_{c,min} = (N+P)/(2\pi R) - M/(\pi R^2)$ | 0,20 MN/m | 2,37 MN/m |
| Fuerza máxima por unidad de longitud en el radio de la jaula | $T_{c,max} = (N+P)/(2\pi R) + M/(\pi R^2)$ | 10,73 MN/m | 12,89 MN/m |

5.5.2. ALARGAMIENTO DE LOS PERNOS DEBIDO AL PRETENSADO

Luego de evaluar las pérdidas de pretensado, el alargamiento resultante en los pernos se calcula a continuación:

Pernos M39 - Grado 10.9

| | | |
|---------------------------------|--|-------------------------|
| Fuerza de pretensado total | $P_t =$ | 600 kN |
| Pérdidas instantáneas | $\Delta P_i =$ | 63 kN |
| Pretensado inicial | $P_i =$ | 537 kN |
| Área resistente | $A_r =$ | 9,82E-04 m ² |
| Área vástago | $A_v =$ | 1,19E-03 m ² |
| Longitud de cálculo | $L =$ | 3,17 m |
| Módulo de elasticidad del acero | $E =$ | 200000,00 MPa |
| Alargamiento de los pernos | $\Delta L = F \cdot L / (A_v \cdot E) =$ | 7,11 mm |

5.5.3. COMPROBACIÓN DEL ESTADO LÍMITE ÚLTIMO

En el estado límite último se realizarán las siguientes verificaciones para los estados de carga indicados en la Tabla 18:

- a) Verificación del acero de los pernos
- b) Máxima compresión en el grout
- c) Máxima compresión en el pedestal
- d) Armadura bajo el grout
- e) Máxima compresión sobre la brida inferior
- f) Armadura sobre la brida inferior
- g) Verificación al desprendimiento por corte del hormigón de un anclaje
- h) Armadura de corte por fricción en el fuste
- i) Armadura de punzonamiento

5.5.3.1. VERIFICACIÓN DEL ACERO DE LOS PERNOS

ACI 318, Apéndice D
 CIRSOC 201-2005, Apéndice D

RESISTENCIA DEL ACERO DE UN ANCLAJE EN TRACCIÓN

| | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|
| | Pernos M39 - Grado 10.9 | |
| Resistencia a la fluencia de los pernos | $f_y =$ | 832 MPa |
| Resistencia última de los pernos | $f_u =$ | 1040 MPa |
| Sección transversal de un perno | $A_{se,N} =$ | 9,82E-04 m ² |
| Resistencia última de los pernos | $f_{uta} =$ | 875 MPa |
| Resistencia nominal | $N_{sa} = A_{se,N} f_{uta} =$ | 859,25 kN |
| Coefficiente de minoración de resistencia | $\phi =$ | 0,75 |
| Resistencia última | $\phi N_{sa} =$ | 644,44 kN |
| Tracción Máxima | $N_{ua} =$ | 643,93 kN |
| Condición de diseño | $\phi N_{sa} > N_{ua} ?$ | OK |

RESISTENCIA DEL ACERO DE UN ANCLAJE A CORTE

| | | |
|---|-------------------------------|-------------------------|
| | Pernos M39 - Grado 10.9 | |
| Resistencia a la fluencia de los pernos | $f_y =$ | 832 MPa |
| Resistencia última de los pernos | $f_u =$ | 1040 MPa |
| Sección transversal de un perno | $A_{se,N} =$ | 9,82E-04 m ² |
| Resistencia última de los pernos | $f_{uta} =$ | 875 MPa |
| Resistencia nominal | $V_{sa} = A_{se,N} f_{uta} =$ | 859,25 kN |
| Coefficiente de minoración de resistencia | $\phi =$ | 0,65 |
| Resistencia última | $\phi V_{sa} =$ | 558,51 kN |
| Tracción Máxima | $V_{ua} =$ | 24,95 kN |
| Condición de diseño | $\phi V_{sa} > V_{ua} ?$ | OK |

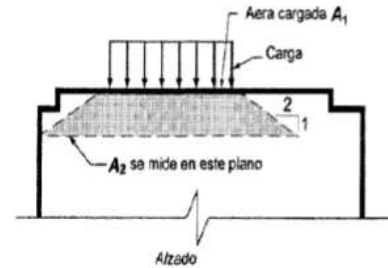
INTERACCIÓN DE LOS ESFUERZOS DE TRACCIÓN Y CORTE

| | | |
|--------------------------|---|----------------|
| Condición de corte | $V_{ua} / \phi V_n =$ | 0,04 |
| Condición de normal | $N_{ua} / \phi N_n =$ | 1,00 |
| | | < 1,2 |
| Interacción de esfuerzos | $V_{ua} / \phi V_n + N_{ua} / \phi N_n =$ | 1,00 OK |



5.5.3.2. MÁXIMA COMPRESIÓN EN EL GROUT

ACI 318, Sección 10.14
CIRSOC 201-2005, Sección 10.17

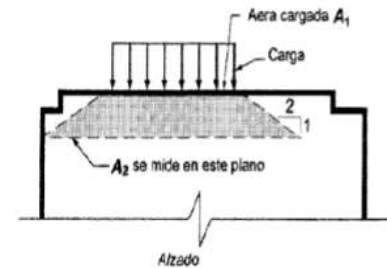


Datos de la sección transversal y otras características:

| | | |
|--|--|---------------------|
| Capa de Grout / Ancho de la placa de apoyo | $d_1 =$ | 0,43 m |
| Espesor de grout | $c =$ | 0,075 m |
| Ancho mínimo de la capa de grout | $d_2 = d_1 + 2 \cdot c =$ | 0,73 m |
| Factor de reducción de resistencia (9.3.2.4) | $\phi =$ | 0,65 |
| Resistencia característica | $f_c =$ | 90 MPa |
| | $A_1 =$ | 0,43 m ² |
| | $A_2 =$ | 0,73 m ² |
| | $k = \min(2; \sqrt{A_2 / A_1}) =$ | 1,30 |
| Resistencia al aplastamiento | $\phi \cdot (0,85 \cdot f_c) \cdot k =$ | 64,85 MPa |
| Máxima tensión de compresión en el pedestal | $\sigma_{C,MAX} =$ | 41,64 MPa |
| Condición de diseño | $\phi \cdot (0,85 \cdot f_c) \cdot k > \sigma_{C,MAX} ?$ | ok |
| Factor de seguridad | Fs = | 1,56 |

5.5.3.3. MÁXIMA COMPRESIÓN EN EL HORMIGÓN DEL PEDESTAL

ACI 318, Sección 10.14
CIRSOC 201-2005, Sección 10.17

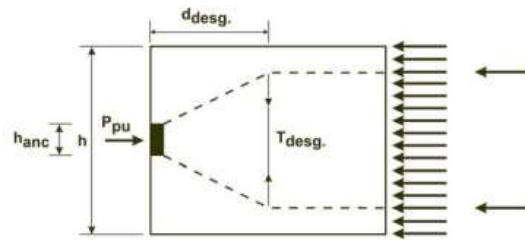
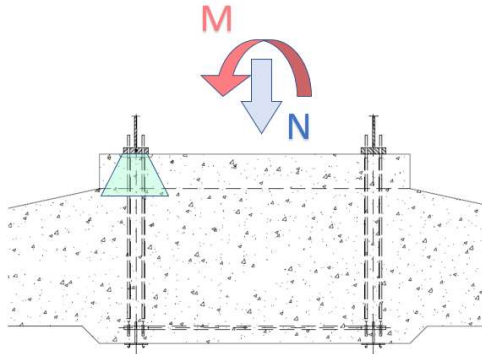


Datos de la sección transversal y otras características:

| | | |
|---|--|---------------------|
| Ancho de apoyo | $d_1 =$ | 0,73 m |
| Distancia mínima al filo del hormigón del fuste | $c =$ | 0,636 m |
| Ancho mínimo de la capa de grout | $d_2 = 2 \cdot c =$ | 1,27 m |
| Factor de reducción de resistencia | $\phi =$ | 0,65 |
| Resistencia característica | $f_c =$ | 45 MPa |
| | $A_1 =$ | 0,73 m ² |
| | $A_2 =$ | 1,27 m ² |
| | $k = \min(2; \sqrt{A_2 / A_1}) =$ | 1,32 |
| Resistencia al aplastamiento | $\phi \cdot (0,85 \cdot f_c) \cdot k =$ | 32,86 MPa |
| Máxima tensión de compresión en el pedestal | $\sigma_{C,MAX} =$ | 24,48 MPa |
| Condición de diseño | $\phi \cdot (0,85 \cdot f_c) \cdot k > \sigma_{C,MAX} ?$ | ok |
| Factor de seguridad | Fs = | 1,34 |



5.5.3.4. ARMADURA BAJO EL GROUT



(a) sección rectangular

$$T_{desg} \approx 0,25 P_{pu}$$

T_{desg} = fuerza de desgarramiento o hendimiento

d_{desg} = distancia desde el baricentro de la fuerza T_{desg} hasta la mayor superficie de apoyo del anclaje.

CIRSOC 201-2005 - Sección 18.13 y comentarios relacionados

Para evitar desgarramiento del hormigón debajo del grout, es necesario disponer armadura auxiliar para resistir la fuerza de tracción. A continuación, se presenta el cálculo de esta armadura.

Datos de la sección transversal y otras características

| | | |
|--|---------------------|--------|
| Ancho de apoyo | $h_{anc} =$ | 0,43 m |
| Distancia más cercana a la superficie de hormigón. | $c =$ | 0,64 m |
| | $h = 2 \cdot c =$ | 1,27 m |
| Espesor total del hormigón | | 2 m |
| Número total de pares de pernos de anclaje | # pares de pernos = | 84 |
| Diámetro base de la torre | $D_t =$ | 2,07 m |
| Altura de la jaula de pernos | $H =$ | 2,95 m |
| Excentricidad de la placa de anclaje | $e_{ancl} =$ | 0,00 m |

Datos de Materiales

| | | |
|---|----------|---------|
| Resistencia característica del hormigón a la compresión | $f_c =$ | 45 MPa |
| Resistencia a la fluencia del acero | $f_y =$ | 420 MPa |
| Factores de minoración de resistencia | $\phi =$ | 0,85 |

Cargas

| | | |
|------------------------------|--------------------|----------|
| Máxima tensión de compresión | $\sigma_{c,MAX} =$ | 41,6 MPa |
| | | 4 MPa |



Evaluación de fuerzas en zona general

| | | |
|-------------------------------|--|--------|
| Máxima carga de compresión | $P_{pu} = \sigma_{c,MAX} \cdot h_{anc} =$ | 18 MN |
| Fuerza de desgarramiento | $T_{desg} = 0,25 \cdot P_{pu} \cdot (1 - h_{anc}/h) =$ | 3,0 MN |
| Profundidad de desgarramiento | $d_{desg} = 0,5 \cdot (h - 2 \cdot e_{ancl}) =$ | 0,64 m |

Armadura total requerida $As,req = T_{desg} / (\phi \cdot f_y) =$ **82,81 cm²/m**

| | ϕ (mm) | sep (cm) | Cant filas |
|-----|-------------|----------|------------|
| Pos | 25 | 7,72 | 1 |
| Pos | 25 | 7,72 | 1 |

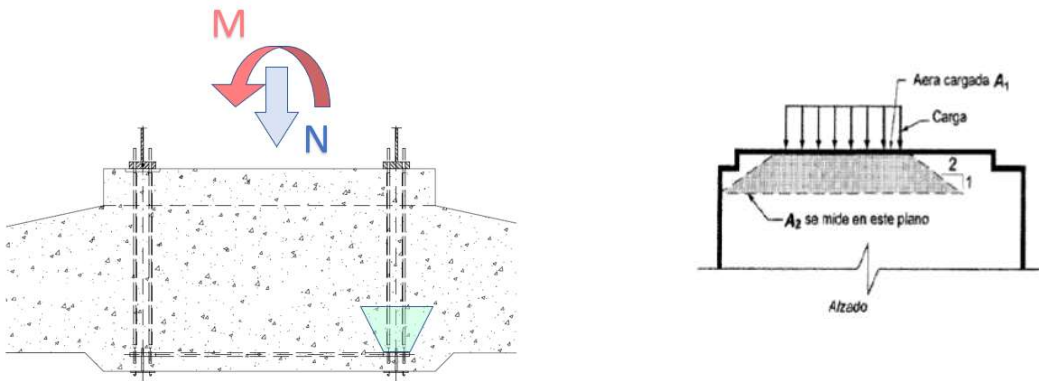
Armadura adoptada $As,adopt =$ **127,17 cm²/m**

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| | | |
|-----------------------------|----------------------------------|-------------|
| Condición de diseño: | $\zeta A_{s,req} < A_{s,adop} ?$ | si |
| Factor de seguridad | $FS = A_{s,adop} / A_{s,req} =$ | 1,54 |

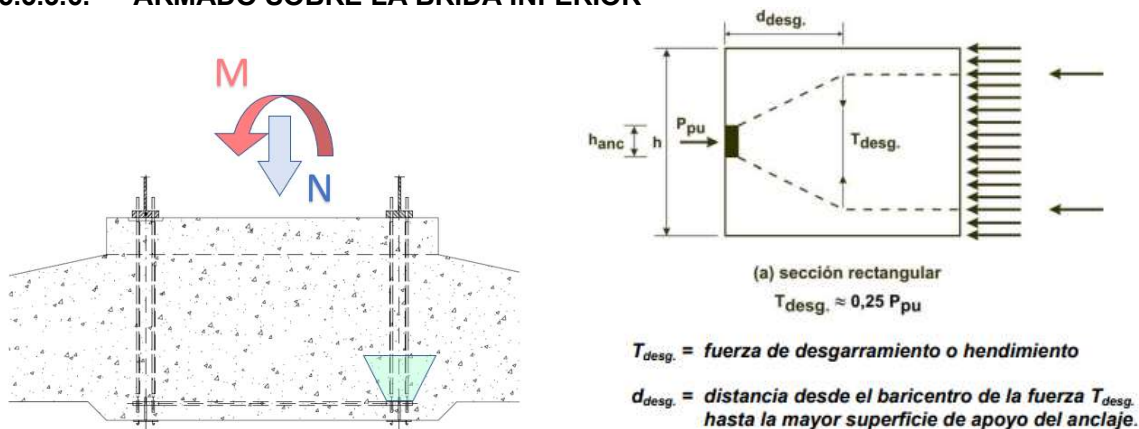
5.5.3.5. COMPRESIÓN DEL HORMIGÓN SOBRE LA BRIDA INFERIOR

A pesar de que la compresión se transmite directamente de la torre a la fundación, la tracción que se genera en los pernos producto de las cargas introducidas también debe considerarse. Esta tracción se transmite al hormigón a través de la brida inferior. Como consecuencia, sobre la brida inferior aparecen áreas de hormigón parcialmente cargado. Lo descrito aquí se presenta en el siguiente esquema:



| | | |
|--|--|---------------------|
| Ancho de la placa de apoyo | $d_1 =$ | 0,425 m |
| Distancia más cercana a la superficie de hormigón. | $c =$ | 4,1 m |
| Espesor total del hormigón | $d_2 = 2 \cdot c =$ | 8,2 m |
| Factor de reducción de resistencia | $\phi =$ | 0,65 |
| Resistencia característica | $f'c =$ | 35 MPa |
| | $A_1 =$ | 0,43 m ² |
| | $A_2 =$ | 8,2 m ² |
| Coefficiente de confinamiento | $k = \min(2; \sqrt{A_2 / A_1}) =$ | 2,00 |
| Resistencia al aplastamiento | $\phi \cdot (0,85 \cdot f'c) \cdot k =$ | 38,68 MPa |
| Máxima tensión de compresión en el pedestal | $\sigma_{C,MAX} =$ | 18,51 MPa |
| Condición de diseño | $\zeta \phi \cdot (0,85 \cdot f'c \cdot A_1) \cdot k > \sigma_{C,MAX} ?$ | ok |
| Factor de seguridad | | 2,09 |

5.5.3.6. ARMADO SOBRE LA BRIDA INFERIOR



CIRSOC 201-2005 - Sección 18.13 y comentarios relacionados

Para evitar desgarramiento del hormigón por encima de la brida inferior, es necesario disponer armadura auxiliar para resistir la fuerza de tracción. A continuación, se presenta el cálculo de esta armadura:

Datos de la sección transversal y otras características

| | | |
|--|---------------------|---------|
| Ancho de apoyo | $h_{anc} =$ | 0,425 m |
| Espesor total del hormigón | $h =$ | 1,00 m |
| Número total de pares de pernos de anclaje | # pares de pernos = | 84 |
| Diámetro base de la torre | $D_t =$ | 4,13 m |
| Altura de la jaula de pernos | $H =$ | 2,95 m |
| Excentricidad de la placa de anclaje | $e_{ancl} =$ | 0,00 m |

Datos de Materiales

| | | |
|---|----------|---------|
| Resistencia característica del hormigón | $f_c =$ | 35 MPa |
| Resistencia a la fluencia del acero | $f_y =$ | 420 MPa |
| Factores de minoración de resistencia | $\phi =$ | 0,85 |

Cargas

| | | |
|------------------------------|--------------------|-----------|
| Máxima tensión de compresión | $\sigma_{C,MAX} =$ | 18,51 MPa |
|------------------------------|--------------------|-----------|

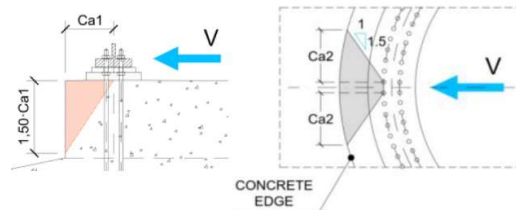
Evaluación de fuerzas en zona general

| | | |
|-------------------------------|--|-----------|
| Máxima carga de compresión | $P_{pu} = \sigma_{C,MAX} \cdot h_{anc} =$ | 7,87 MN/m |
| Fuerza de desgarramiento | $T_{desg} = 0,25 \cdot P_{pu} \cdot (1 - h_{anc}/h) =$ | 1,13 MN/m |
| Profundidad de desgarramiento | $d_{desg} = 0,5 \cdot (h - 2 \cdot e_{anc}) =$ | 0,50 m |

| | | | | |
|---------------------------------|--|-----------------|-------------------|-------------------------------|
| Armadura total requerida | $As_{req} = T_{desg} / (\phi \cdot f_y) =$ | | | 31,68 cm²/m |
| | ϕ (mm) | sep (cm) | Cant filas | |
| Pos | 20 | 15,44 | 1 | |
| Pos | 20 | 15,44 | 1 | |
| Armadura adoptada | $As_{adopt} =$ | | | 40,69 cm²/m |
| Condición de diseño: | $\zeta As_{req} < As_{adop} ?$ | | | si |
| Factor de seguridad | $FS = As_{adop} / As_{req} =$ | | | 1,28 |

5.5.3.7. DESPRENDIMIENTO POR CORTE DEL HORMIGÓN DE UN ANCLAJE

ACI 318 - APÉNDICE D - Sección D.6.2
 CIRSOC 201-2005 - APÉNDICE D - Sección D.6.2



Características

| | | |
|--|---|-------------------------------------|
| Número de pared de pernos | # = | 84 |
| Factor de reducción de resistencia | ϕ = | 0,65 |
| Factor de modificación | l = | 1 |
| Resistencia especificada del hormigón en el pedestal | f_c = | 45 |
| Distancia entre centros de pernos | s = | 163,7 mm |
| Distancia al borde desde el eje de los pernos | C_{a1} = | 636 mm |
| | C_{a2} = | 641 mm |
| Excentricidad | e_v = | 0 mm |
| Profundidad área proyectada en el borde | h_a = | 600 mm |
| Diámetro de los pernos | d_a = | 39 mm |
| Profundidad efectiva del empotramiento del anclaje | h_{ef} = | 3000 mm |
| Longitud de apoyo de la carga del anclaje en cortante | D.6.2.2 ($l_e \leq 8d_a$) | $l_e = h_{ef} =$ 312 mm |
| Distancia promedio entre centros de pernos | s_1 = | 154,4 mm |
| Fuerza de corte mayorada por par de pernos | $V_{ua,g}$ = | 10,81 kN/par |
| Factor de modificación para grupos de anclaje | D.6.2.5 | $y_{ec,v} =$ 1,00 |
| Factor de modificación de los efectos de borde | D.6.2.6 | $y_{ed,v} =$ 0,90 |
| Factor de modificación por fisuración | D.6.2.7 | $y_{c,v} =$ 1,40 |
| Factor de modificación de resistencia por arrancamiento del hormigón al corte | D.6.2.8 | $y_{h,v} =$ 1,26 |
| Resistencia básica a la rotura del hormigón | D.6.2.2 - D.6.2.3 | $V_b =$ 398,10 kN |
| Área proyectada de la superficie de falla del lado del elemento de hormigón en su borde | | $A_{vc} =$ 1237440 mm ² |
| Área proyectada de un perno simple en un elemento embebido con una distancia entre ejes mayor o igual que $1,5C_{a1}$ en la dirección perpendicular a la fuerza de corte | | $A_{vco} =$ 1820232 mm ² |
| Resistencia nominal del hormigón a la rotura por corte | | $V_{cb,g} =$ 430,7 kN |
| | | $\phi \cdot V_{cb,g} =$ 280,0 kN |
| Condición de diseño | $\phi \cdot V_{cb,g} > V_{ua,g}$? | OK |

5.5.3.8. ARMADURA DE CORTE POR FRICCIÓN EN EL FUSTE

CIRSOC 201-2005 – Sección 11.7

Posiciones

| | | | | | |
|-----|---|----------|----|------------|----|
| Pos | 0 | Ø (mm) = | 20 | # barras = | 84 |
| Pos | 0 | Ø (mm) = | 0 | # barras = | 0 |
| Pos | 0 | Ø (mm) = | 0 | # barras = | 0 |

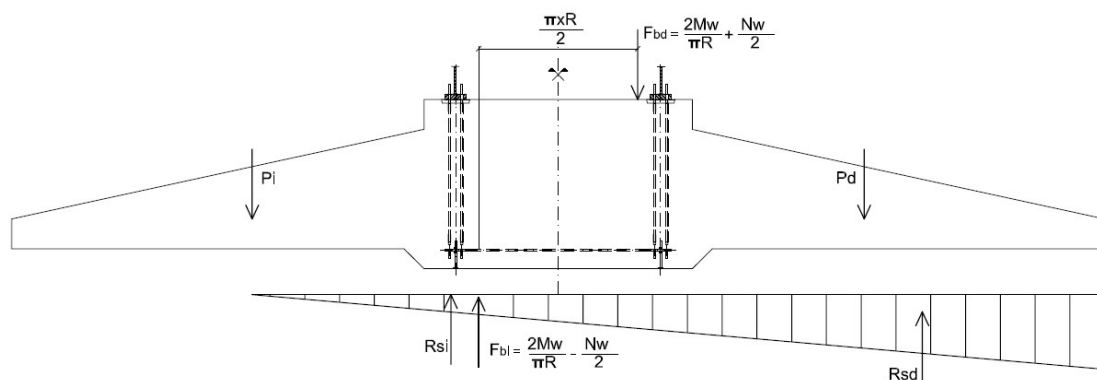
| | | | |
|------------------------------------|----------|--|-----------------------|
| Coeficiente de fricción | 11.7.4.3 | $\lambda =$ | 1 |
| Tensión de fluencia | | $\mu =$ | 1,4 |
| Factor de reducción de resistencia | 9.3.2.3 | $f_y =$ | 420 MPa |
| Armadura de corte por fricción | | $\phi =$ | 0,75 |
| Resistencia al corte | | $A_{vf} =$ | 263,9 cm ² |
| Corte actuante | | $\phi \cdot V_n = \phi \cdot A_{vf} \cdot f_y \cdot \mu =$ | 11638 kN |
| Condición de diseño | | $V_u =$ | 1816,3 kN |
| | | ¿ $\phi \cdot V_n > V_u$? | ok |

5.5.3.9. ARMADURA DE PUNZONADO

Las fuerzas del viento deben ser transmitidas apropiadamente a través del pedestal al refuerzo radial y transversal. Las cargas de la torre son aplicadas a la cimentación por medio de la jaula de pernos. Estas cargas son una fuerza axial transmitida por la torre con un valor de N, y un momento de flexión con un valor de M.



El refuerzo vertical se obtendrá integrando las fuerzas en ambos lados de la fundación. De esta manera podemos obtener el puntal vertical dentro del pedestal y tomarlo como fuerza de corte para resistir en todo el pedestal.

El esquema de fuerzas se presenta a continuación:



LA ARMADURA INTERIOR VERTICAL DEL PEDESTAL SERÁ CALCULADA PARA RESISTIR LAS COMPONENTES VERTICALES DE LOS PUNTALES DE LOS PEDESTALES

Figura N° 52 – Distribución de resultantes a la izquierda y a la derecha del eje

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

| Cargas características | | | Cargas últimas | | |
|-------------------------------|-------|-----------|-----------------------|------|------------------|
| Peso Fundacion | D1x = | 13755 kN | $\gamma =$ | 1,35 | D1xu = 18570 kN |
| Peso suelo | D2x = | 6352 kN | $\gamma =$ | 1,35 | D2xu = 8575 kN |
| N viento | Fx = | 4329 kN | $\gamma =$ | 1,35 | Fxu = 5843 kN |
| M viento | Mxy = | 72947 kNm | $\gamma =$ | 1,35 | Mxyu = 98478 kNm |
| H viento | Fxy = | 672 kN | $\gamma =$ | 1,35 | Fxyu = 907 kN |

| Cargas combinadas | | | Reacciones del suelo | | |
|--------------------------|---------------|-----------|-----------------------------|-------------|----------|
| Normal total | Nu = | 32988 kN | | | |
| Momento total | Mu = | 98478 kN | | | |
| Diámetro de Jaula | D flange = | 4,13 m | Excent. Cargas | e = Mu/Nu = | 2,99 m |
| Esp. brida sup | e brida inf = | 428 m | Diámetro fundación | D = | 22 m |
| Esp. Brida inf. | e brida sup = | 425 m | Área en contacto | x = | 20,51 m |
| Fza. Brida izq. | F bd = | 33282 kN | Tensión máxima | smáx = | 181 MPa |
| Fza. Brida der. | F bi = | -27438 kN | Reacción derecha | Rsd = | 24587 kN |
| Peso/derecho | Pd = | 13572 kN | Reacción izquierda | Rsi = | 8401 kN |
| Peso/izquierdo | Pi = | 13572 kN | | | |

Distribución de fuerzas

| | Brida izquierda | | Brida derecha | |
|---------------|-----------------|----------|---------------|----------|
| | Exterior | Interior | Interior | Exterior |
| | -5171 | -22267 | 22267 | 11014 |
| Peso | 13572 kN | | 13572 kN | |
| Presión suelo | -8401 kN | | -24587 kN | |
| | 0 kN | | 0 kN | |



Cálculo de Armaduras

EN.1992-1-1-2004 Art. 6.2.3

| | | |
|--|---------------------|----------|
| La fuerza interna dentro del pedestal resulta: | F ped = | 22267 kN |
| Distancia horizontal | av = | 3,704 m |
| Distancia entre la brida inferior y la armadura de flexión | d = | 2,300 m |
| | av/d = | 1,610 |
| | $\beta = av/2d =$ | 0,81 |
| Esfuerzo de corte | Ved = $\beta Fed =$ | 17928 kN |
| Fluencia del acero | f _{yw} = | 420 MPa |

Armadura total requerida en pedestal **As_{req} = 426,85 cm²**

| | \emptyset (mm) | Nº | Cant filas |
|-----------------------------|---|---------------|-----------------------|
| Pos | 25 | 84,00 | 1 |
| Pos | 25 | 21,00 | 1 |
| Armadura adoptada | As_{adopt} = | 515,42 | cm² |
| Condición de diseño: | $\zeta As_{req} < As_{adop} ?$ | si | |
| Factor de seguridad | FS = As_{adop} / As_{req} = | 1,21 | |

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

6. VERIFICACIÓN A FATIGA

Las comprobaciones de fatiga que se realizan en la presente memoria se resumen a continuación:

a) COMPROBACIONES EN LOSA

- HORMIGÓN
 - TENSIONES RADIALES INFERIORES
 - TENSIONES RADIALES SUPERIORES
 - TENSIONES CIRCUNFERENCIALES INFERIORES
 - TENSIONES CIRCUNFERENCIALES SUPERIORES
- ACERO:
 - ARMADURAS RADIALES SUPERIORES
 - ARMADURAS RADIALES INFERIORES
 - ARMADURAS DE CORTE

b) COMPROBACIONES EN PEDESTAL

- FATIGA EN GROUT
- FATIGA EN HORMIGÓN DEBAJO DEL GROUT
- FATIGA SOBRE BRIDA INFERIOR
- ACERO:
 - ARMADURA DEBAJO DEL GROUT
 - ARMADURA POR ENCIMA DE BRIDA INFERIOR

En primer lugar, los estados de carga que deben verificarse a fatiga fueron provistos por el tecnólogo en la referencia [12] bajo los dos formatos que se mencionan a continuación:

- A)** Espectro de cargas de fatiga.
- B)** Matrices de Markov.

En la página 32, punto S2.3 de la referencia [11] se establece que, para hormigón armado, las armaduras y el hormigón deberían ser diseñados a fatiga usando el CEB-FIP Model Code 1990 [9].

Los factores parciales para la evaluación de las cargas de fatiga son los especificados en las referencias [9] [10] [11]:

El factor parcial de cargas es:

$$\gamma_f = 1.0$$

Los factores parciales de materiales son los siguientes:

Hormigón: $\gamma_c = 1.50$
 Acero: $\gamma_c = 1.15$
 $\gamma_{sd} = 1.1$

6.1. PROCEDIMIENTO PARA LA EVALUACIÓN DE SOLICITACIONES

Para poder evaluar las solicitaciones (M, N, V) en la sección en análisis, se procede como se indica a continuación:

- Mediante MEF se obtienen las solicitaciones (M, N, V) en las secciones que se necesitan para los 22 estados de cargas analizados anteriormente. Por ejemplo:

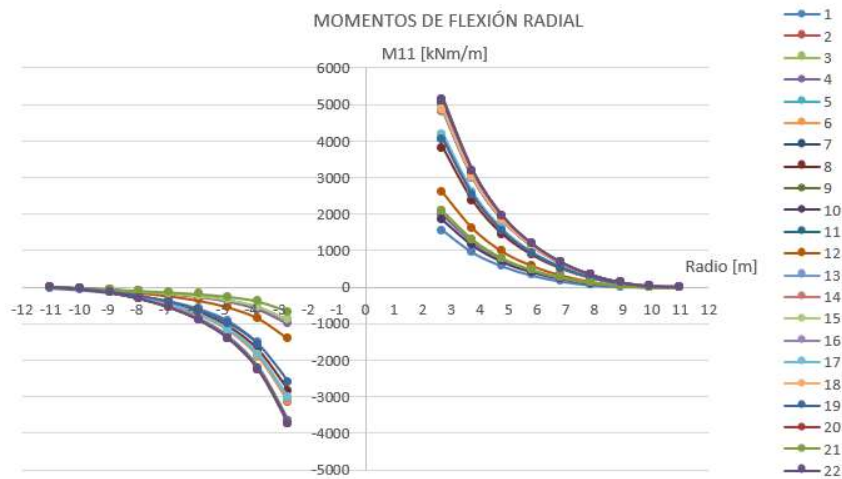


Figura N° 53 – Momentos de flexión radial en ELU

- Para la sección que se quiera se traza una curva de regresión:

EJE X: Fuerzas y/o momentos actuantes en la base de la torre de estos 22 estados de carga

EJE Y: Solicitación actuante (Momentos M, Corte V, Normales N) y tensiones (S11, S22, S33)

Por ejemplo, para una sección a los 2,70 m (filo fuste) tenemos la siguiente curva de regresión:

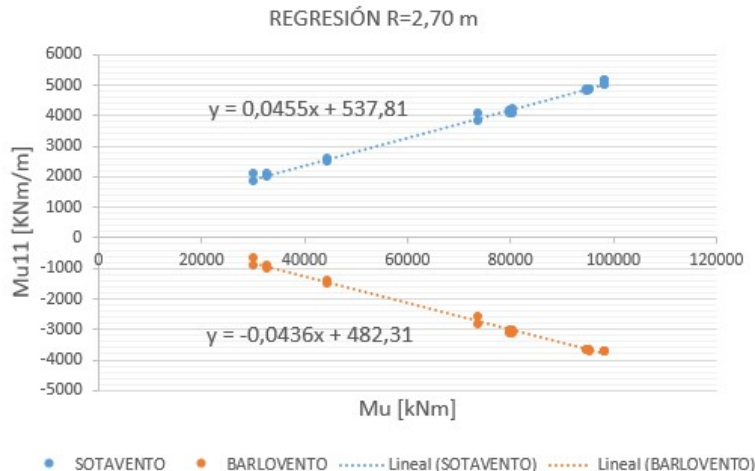




Figura N° 54 – Curvas de regresión para Mu11 en ELU para una sección determinada

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

3- Luego con las ecuaciones de las solicitaciones obtenidas en el punto 2 se obtiene las solicitaciones en la sección en estudio para cualquier fuerza/momento actuante.

Con este procedimiento es posible verificar todos los casos de la matriz de Markov.

6.2. CONSIDERACIONES PARA EL HORMIGÓN

En el caso del hormigón, los requisitos se consideran satisfechos si en el período de vida requerido n , es igual o inferior al número final de ciclos N .

El valor de N se calcula con las siguientes funciones de resistencia a la fatiga obtenidas de la referencia [9]

Si $S_{cd,min} \geq 0,8$ se considera $S_{cd,min} = 0,8$

Para $0 < S_{cd,min} < 0,8$

$$\log N_1 = (12 + 16S_{cd,min} + 8S_{cd,min}^2)(1 - S_{cd,max})$$

$$\log N_2 = 0,2 \log N_1 (\log N_1 - 1)$$

$$\log N_3 = \log N_3 (0,3 - \frac{3}{8}S_{cd,min}) / \Delta S_{cd}$$

- a) Si $\log N_1 \leq 6$, entonces $\log N = \log N_1$
b) Si $\log N_1 > 6$ y $\Delta S_{cd} \geq 0,30 - \frac{3}{8}S_{cd,min}$, entonces $\log N = \log N_2$
c) Si $\log N_1 > 6$ y $\Delta S_{cd} < 0,30 - \frac{3}{8}S_{cd,min}$, entonces $\log N = \log N_3$

donde:

$$S_{cd,max} = \gamma_{sd} \sigma_{c,max} \eta_c / f_{cd,fat}$$

$$S_{cd,min} = \gamma_{sd} \sigma_{c,min} \eta_c / f_{cd,fat}$$

$$\Delta S_{cd} = S_{cd,max} - S_{cd,min}$$

La resistencia a la compresión a la fatiga se obtiene con la siguiente expresión:

A) Para hormigón $f_{cd,fat} = 0,85 f_{cd} (1 - \frac{f_{ck}}{250})$

B) Para grout $f_{cd,fat} = 0,85 f_{cd} (1 - \frac{f_{ck}}{400})$

Habiendo obtenido el número final de ciclos N para cada uno de los estados de la matriz de Markov se evalúa el índice de daños de acuerdo con la formulación de Palmgren-Miner.

$$D = \sum_{i=1}^j \frac{n_{Si}}{N_{Ri}}$$

n_{Si} : Es el número de ciclos de tensiones actuantes asociados con el rango de tensiones para el acero y el hormigón

N_{Ri} : Es el número de ciclos resistentes.

Debe verificarse que el índice de daños $D \leq D_{lim} = 1$

6.3. CONSIDERACIONES PARA EL ACERO

Para la comprobación de la fatiga en el acero se verifica que la variación entre las tensiones máximas y mínimas no ocasionen daños que comprometan el nivel de seguridad de la estructura.

Debe satisfacerse la siguiente relación:

$$\gamma_{sd} \max \Delta \sigma_{ss} \leq \Delta \sigma_{Rsk}(n) / \gamma_{s, fat}$$

$\Delta \sigma_{ss}$: Variación de tensiones actuantes.

n: número previsto de ciclos en la vida útil de diseño requerida

$\Delta \sigma_{Rsk}(n)$: Es el rango de tensiones relevante para n ciclos obtenido desde una función de resistencia característica a fatiga (Tabla 6.7.1 ref. [9])

El límite máximo para la variación de tensiones para el número de ciclos considerados se ha obtenido a partir de valores de base incluidos en la siguiente tabla, sabiendo que los valores de la máxima variación de tensiones para $\varnothing > 16$ mm están dados para $\varnothing = 40$ mm, y que el valor para el diámetro deseado se puede obtener interpolando:

Table 6.7.1. Parameters of S-N curves for reinforcing steel (embedded in concrete)

| | N^* | Stress exponent | | $\Delta \sigma_{Rsk}$ (MPa) ^(c) | |
|--|--------|-----------------|-------|--|------------------|
| | | k_1 | k_2 | At N^* cycles | At 10^8 cycles |
| Straight and bent bars $D \geq 25\phi$ $\phi \leq 16$ mm $\phi > 16$ mm ^(a) | 10^6 | 5 | 9 | 210 | 125 |
| | 10^6 | 5 | 9 | 160 | 95 |
| Bent bars $D < 25\phi$ ^(b) | 10^6 | 5 | 9 | – ^(c) | – ^(c) |
| Welded bars ^(b) including tack welding and butt joints mechanical connectors | 10^7 | 3 | 5 | 50 | 30 |
| Marine environment ^{(b),(d)} | 10^7 | 3 | 5 | 65 | 40 |

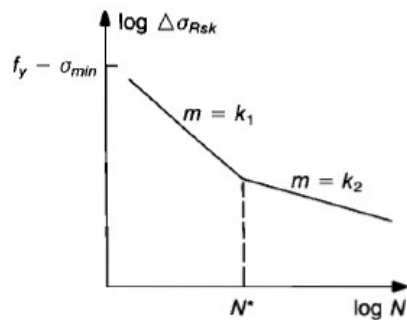
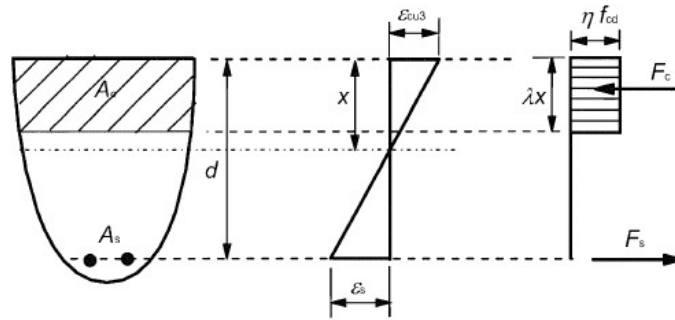


Fig. 6.7.2. Shape of the characteristic fatigue strength curves (S-N curves) for steel



Para el cálculo de las tensiones sobre las armaduras se utilizan las propiedades de la sección fisurada según se indican a continuación:



$$F_c = \lambda x \eta f_{cd}$$

$$F_c = \sigma_s A_s$$

$$\Sigma H = 0 \rightarrow H = 0 \rightarrow N - F_s - F_c \quad (1)$$

$$\Sigma M = 0 \rightarrow -F_c \left(d - \frac{\lambda x}{2} \right) - N \left(d - \frac{h}{2} \right) + M = 0 \quad (2)$$

Sustituyendo (1) en (2) y dejando como incógnita el valor x obtenemos una ecuación cuadrática de tipo $ax^2+bx+c=0$ cuyas raíces son:

$$x_{1,2} = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

Donde:

$$a = \lambda^2 \eta \frac{f_{cd}}{2}$$

$$b = -\lambda \eta f_{cd} d$$

$$c = M - N \left(d - \frac{h}{2} \right)$$

Con el valor de x , conociendo la armadura A_s adoptada, podemos evaluar las tensiones actuantes en el acero σ_{smin} y σ_{smax} para cada estado de cargas.

A continuación, con la variación de tensiones $\Delta\sigma_s$, se entra a la curva S-N y se obtiene el número N para cada estado de cargas a evaluar.

Finalmente se realiza la sumatoria de Palmgren-Miner para obtener el índice de daños y se compara con el valor límite 1. $D \leq 1$.

6.4. COMPROBACIONES EN LOSA

6.4.1. HORMIGÓN

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 30 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 14,96 MPa |
| fcd = | 20 MPa |

6.4.1.1. TENSIONES RADIALES INFERIORES

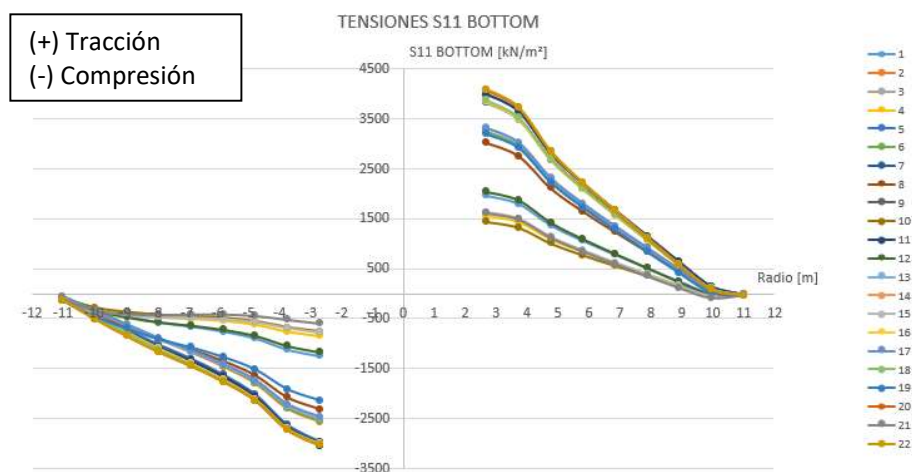


Figura N° 55 – Tensiones S11 bottom en ELU

Para las tensiones radiales inferiores tenemos la siguiente curva de regresión:

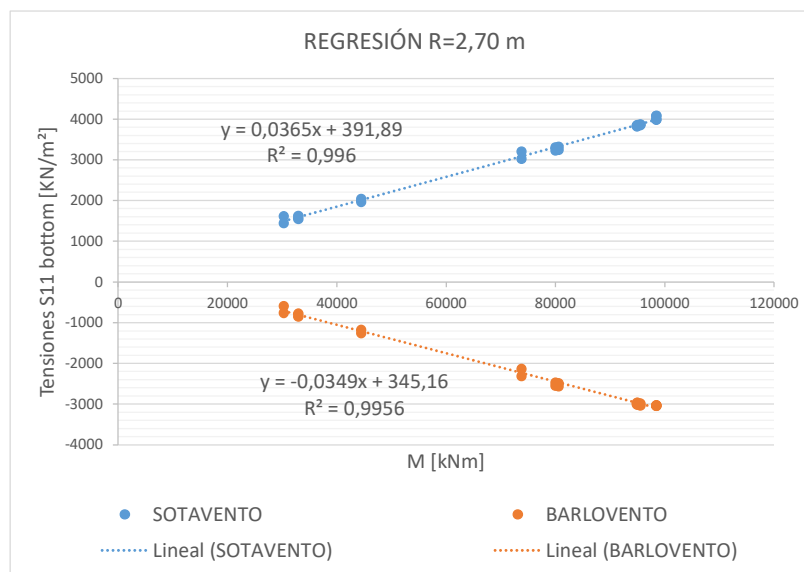


Figura N° 56 – Curva de regresión para S11 bottom en R= 2,70 m



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas



A continuación, se muestra una fracción de la matriz de Markov en la que se evalúa el índice de daños

| MY_0405 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---|--------|--------|---------|---------|----------|------------------|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | ni | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{ed,max}$ | $S_{ed,min}$ | HORMIGÓN S11 - BOTTOM TENSIONES DE COMPRESION | | | | | | |
| | | | | | | | | | | ΔS_{ed} | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = Σ n/N |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 0,97 | 0,99 | 0,06 | 0,07 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,4 | 6467,18 | 6467,18 | 2,9E-307 | 6,5E-46 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 0,87 | 0,89 | 0,06 | 0,06 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,3 | 6506,06 | 6506,06 | 2,9E-307 | 5,9E-307 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 0,80 | 0,82 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6531,19 | 6531,19 | 1,6E-307 | 7,5E-307 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 0,78 | 0,80 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6537,38 | 6537,38 | 1,6E-307 | 9,1E-307 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 0,76 | 0,78 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6543,52 | 6543,52 | 1,1E-307 | 1,1E-306 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 0,75 | 0,76 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6549,63 | 6549,63 | 1,0E-307 | 1,1E-306 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 0,69 | 0,71 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,1 | 6567,70 | 6567,70 | 5,4E-308 | 1,2E-306 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 0,68 | 0,69 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,1 | 6573,65 | 6573,65 | 6,1E-308 | 1,2E-306 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 0,66 | 0,68 | 0,04 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,1 | 6579,55 | 6579,55 | 4,8E-308 | 1,3E-306 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 0,64 | 0,66 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,1 | 6585,42 | 6585,42 | 5,7E-308 | 1,3E-306 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 0,62 | 0,64 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6591,25 | 6591,25 | 5,1E-307 | 1,9E-306 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 0,61 | 0,62 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6597,03 | 6597,03 | 4,1E-307 | 2,3E-306 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 0,59 | 0,61 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6602,78 | 6602,78 | 2,8E-307 | 2,5E-306 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 0,57 | 0,59 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6608,49 | 6608,49 | 1,2E-307 | 2,7E-306 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 0,55 | 0,57 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6614,16 | 6614,16 | 1,3E-307 | 2,8E-306 |

| MY_0405 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|---|--------|--------|---------|---------|----------|------------------|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | ni | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{ed,max}$ | $S_{ed,min}$ | HORMIGÓN S11 - BOTTOM TENSIONES DE COMPRESION | | | | | | |
| | | | | | | | | | | ΔS_{ed} | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = Σ n/N |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750 | 37250 | 0,94 | 0,95 | 0,06 | 0,06 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,3 | 6480,30 | 6480,30 | 2,8E-307 | 1,6E-46 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250 | 35750 | 0,89 | 0,90 | 0,06 | 0,06 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,3 | 6499,68 | 6499,68 | 6,50E+03 | 5,7E-308 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750 | 35250 | 0,87 | 0,89 | 0,06 | 0,06 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,3 | 6506,06 | 6506,06 | 6,51E+03 | 2,8E-307 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750 | 33250 | 0,80 | 0,82 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6531,19 | 6531,19 | 1,4E-307 | 7,6E-307 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250 | 32750 | 0,78 | 0,80 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6537,38 | 6537,38 | 6,54E+03 | 1,8E-307 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750 | 32250 | 0,76 | 0,78 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,2 | 6543,52 | 6543,52 | 6,54E+03 | 1,7E-307 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250 | 31750 | 0,75 | 0,76 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,1 | 6549,63 | 6549,63 | 5,9E-308 | 1,2E-306 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250 | 30750 | 0,71 | 0,73 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,1 | 6561,72 | 6561,72 | 6,56E+03 | 1,2E-306 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750 | 30250 | 0,69 | 0,71 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,2 | 27,1 | 6567,70 | 6567,70 | 6,57E+03 | 5,1E-308 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250 | 29750 | 0,68 | 0,69 | 0,05 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,1 | 6573,65 | 6573,65 | 6,57E+03 | 0,0E+00 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750 | 29250 | 0,66 | 0,68 | 0,04 | 0,05 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,1 | 6579,55 | 6579,55 | 6,58E+03 | 2,7E-308 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250 | 28750 | 0,64 | 0,66 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,1 | 6585,42 | 6585,42 | 6,59E+03 | 3,4E-308 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750 | 28250 | 0,62 | 0,64 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6591,25 | 6591,25 | 6,59E+03 | 1,9E-307 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250 | 27750 | 0,61 | 0,62 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6597,03 | 6597,03 | 3,8E-307 | 2,0E-306 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750 | 27250 | 0,59 | 0,61 | 0,04 | 0,04 | 1,2E-03 | 12,1 | 27,0 | 6602,78 | 6602,78 | 6,60E+03 | 4,9E-307 |

Tabla N° 46 – Evaluación de D para S11 bottom (CASE I, II)

En ambos casos, se observa que los índices de daños (en amarillo) son menores que Dlim=1. Por lo tanto, estamos en buenas condiciones.



6.4.1.2. TENSIONES RADIALES SUPERIORES

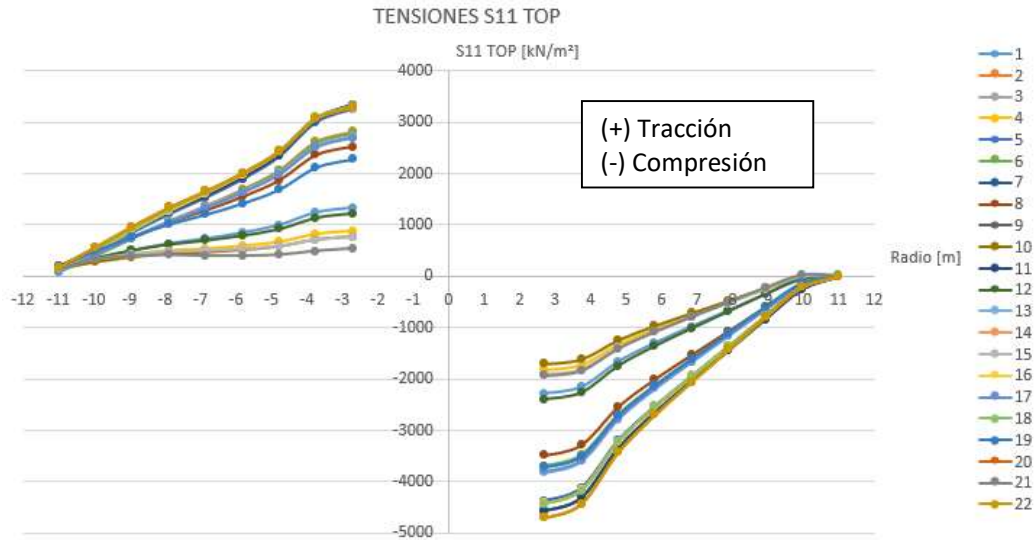


Figura N° 57 – Tensiones S11 top en ELU

Para las tensiones radiales superiores tenemos la siguiente curva de regresión:

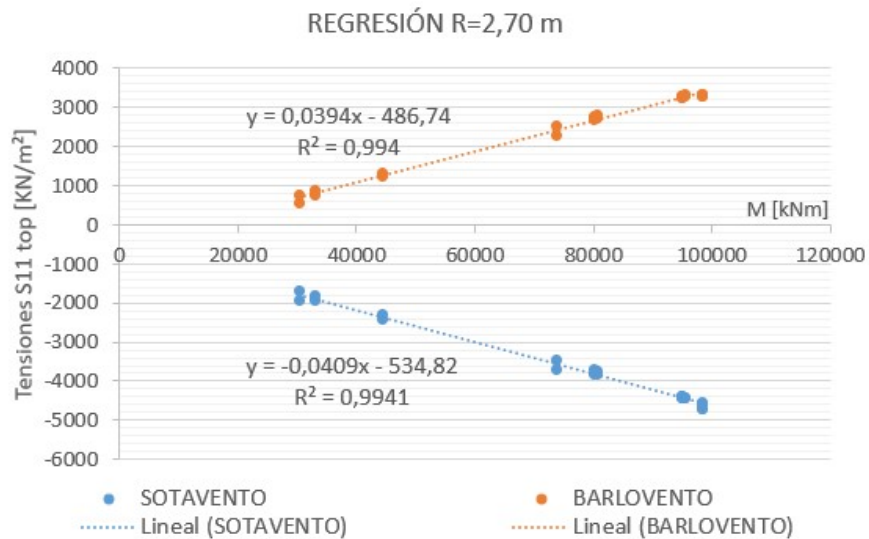


Figura N° 58 – Curva de regresión para S11 top en R= 2,70 m

A continuación, se muestra una fracción de la matriz de Markov en la que se evalúa el índice de daños:



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas



| MY_0405 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|------------|----------|--------------|--------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|--|--------|---------|----------|----------|------------------|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | n | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{ed,max}$ | $S_{ed,min}$ | ΔS_{cd} | HORMIGÓN S11 - TOP - TENSIONES DE COMPRESION | | | | | |
| | | | | | | | | | | | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = Σ n/N |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750,00 | 38250,00 | 2,08 | 2,10 | 0,14 | 0,14 | 1,4E-03 | 12,4 | 28,1 | 5092,64 | 5,09E+03 | 2,9E-307 | 2,7E-28 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750,00 | 35250,00 | 1,96 | 1,98 | 0,13 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5145,97 | 5,15E+03 | 2,9E-307 | 5,9E-307 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,99E+00 | 32750,00 | 33250,00 | 1,87 | 1,89 | 0,13 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5180,66 | 5,18E+03 | 1,6E-307 | 7,5E-307 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250,00 | 32750,00 | 1,85 | 1,87 | 0,12 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5189,22 | 5,19E+03 | 1,6E-307 | 9,1E-307 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750,00 | 32250,00 | 1,83 | 1,85 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5197,74 | 5,20E+03 | 1,1E-307 | 1,0E-306 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250,00 | 31750,00 | 1,81 | 1,83 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5206,22 | 5,21E+03 | 1,0E-307 | 1,1E-306 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750,00 | 30250,00 | 1,75 | 1,77 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5231,39 | 5,23E+03 | 5,4E-308 | 1,2E-306 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250,00 | 29750,00 | 1,73 | 1,75 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5239,69 | 5,24E+03 | 6,1E-308 | 1,2E-306 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750,00 | 29250,00 | 1,71 | 1,73 | 0,11 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5247,94 | 5,25E+03 | 4,8E-308 | 1,3E-306 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250,00 | 28750,00 | 1,69 | 1,71 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5256,16 | 5,26E+03 | 5,7E-308 | 1,3E-306 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750,00 | 28250,00 | 1,67 | 1,69 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5264,33 | 5,26E+03 | 5,1E-307 | 1,9E-306 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250,00 | 27750,00 | 1,65 | 1,67 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5272,45 | 5,27E+03 | 4,1E-307 | 2,3E-306 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750,00 | 27250,00 | 1,63 | 1,65 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5280,53 | 5,28E+03 | 2,8E-307 | 2,6E-306 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250,00 | 26750,00 | 1,61 | 1,63 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,8 | 5288,57 | 5,29E+03 | 1,2E-307 | 2,7E-306 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750,00 | 26250,00 | 1,59 | 1,61 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,8 | 5296,56 | 5,30E+03 | 1,3E-307 | 2,8E-306 |

| MY_0405 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|-------------|------------|----------|--------------|--------------|------------------------|------------------------|--------------|--------------|-----------------|--|--------|---------|----------|----------|------------------|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | n | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{ed,max}$ | $S_{ed,min}$ | ΔS_{cd} | HORMIGÓN S11 - TOP - TENSIONES DE COMPRESION | | | | | |
| | | | | | | | | | | | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = Σ n/N |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750,00 | 37250,00 | 2,04 | 2,06 | 0,14 | 0,14 | 1,4E-03 | 12,4 | 28,1 | 5110,59 | 5,110,59 | 2,8E-307 | 1,3E-28 |
| CASE II | 500 | -35000 | 5,75E-01 | 35250,00 | 35750,00 | 1,98 | 2,00 | 0,13 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,4 | 28,0 | 5137,19 | 5,137,19 | 5,7E-308 | 3,4E-307 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750,00 | 35250,00 | 1,96 | 1,98 | 0,13 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5145,97 | 5,145,97 | 2,8E-307 | 6,2E-307 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750,00 | 33250,00 | 1,87 | 1,89 | 0,13 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5180,66 | 5,180,66 | 1,4E-307 | 7,6E-307 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250,00 | 32750,00 | 1,85 | 1,87 | 0,12 | 0,13 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5189,22 | 5,189,22 | 1,8E-307 | 9,4E-307 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750,00 | 32250,00 | 1,83 | 1,85 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5197,74 | 5,197,74 | 1,7E-307 | 1,1E-306 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250,00 | 31750,00 | 1,81 | 1,83 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 28,0 | 5206,22 | 5,206,22 | 5,9E-308 | 1,2E-306 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250,00 | 30750,00 | 1,77 | 1,79 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5223,04 | 5,223,04 | 1,2E-307 | 1,3E-306 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750,00 | 30250,00 | 1,75 | 1,77 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5231,39 | 5,231,39 | 5,1E-308 | 1,3E-306 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250,00 | 29750,00 | 1,73 | 1,75 | 0,12 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5239,69 | 5,239,69 | 0,0E+00 | 1,3E-306 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750,00 | 29250,00 | 1,71 | 1,73 | 0,11 | 0,12 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5247,94 | 5,247,94 | 2,7E-308 | 1,4E-306 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250,00 | 28750,00 | 1,69 | 1,71 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5256,16 | 5,256,16 | 3,4E-308 | 1,4E-306 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750,00 | 28250,00 | 1,67 | 1,69 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5264,33 | 5,264,33 | 1,9E-307 | 1,6E-306 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250,00 | 27750,00 | 1,65 | 1,67 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5272,45 | 5,272,45 | 3,8E-307 | 2,0E-306 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750,00 | 27250,00 | 1,63 | 1,65 | 0,11 | 0,11 | 1,4E-03 | 12,3 | 27,9 | 5280,53 | 5,280,53 | 4,9E-307 | 2,5E-306 |

Tabla Nº 47 – Evaluación de D para S11 top (CASE I, II)

En ambos casos, se observa que los índices de daños (en amarillo) son menores que Dlim=1. Por lo tanto, estamos en buenas condiciones.

6.4.1.3. TENSIONES CIRCUNFERENCIALES INFERIORES

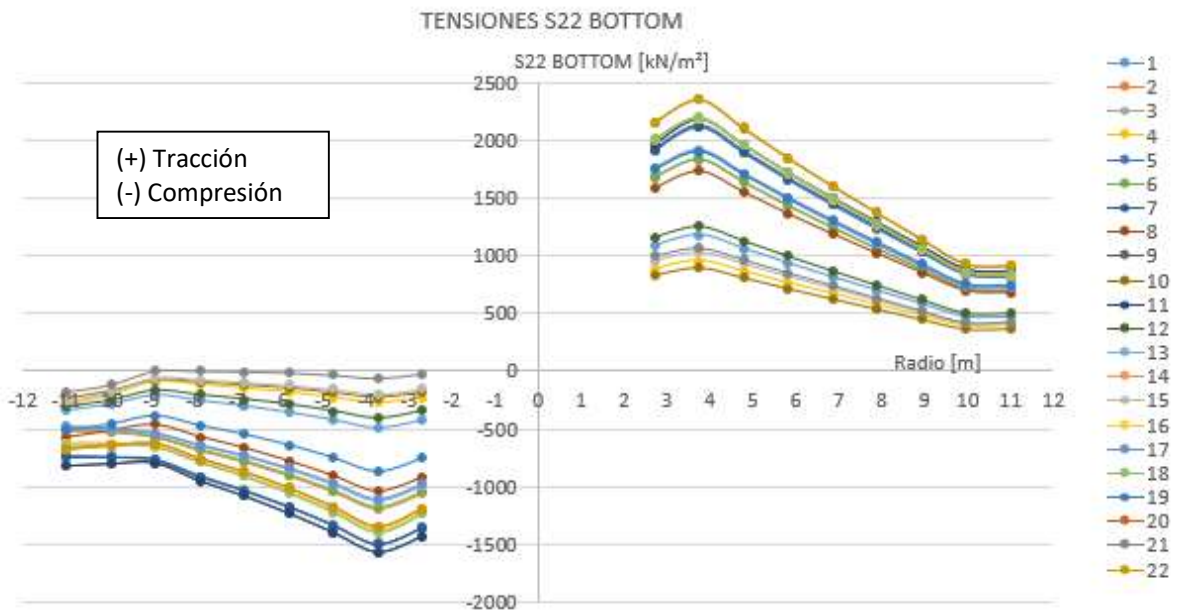


Figura N° 59 – Tensiones S22 bottom en ELU

Para las tensiones circunferenciales superiores tenemos la siguiente curva de regresión

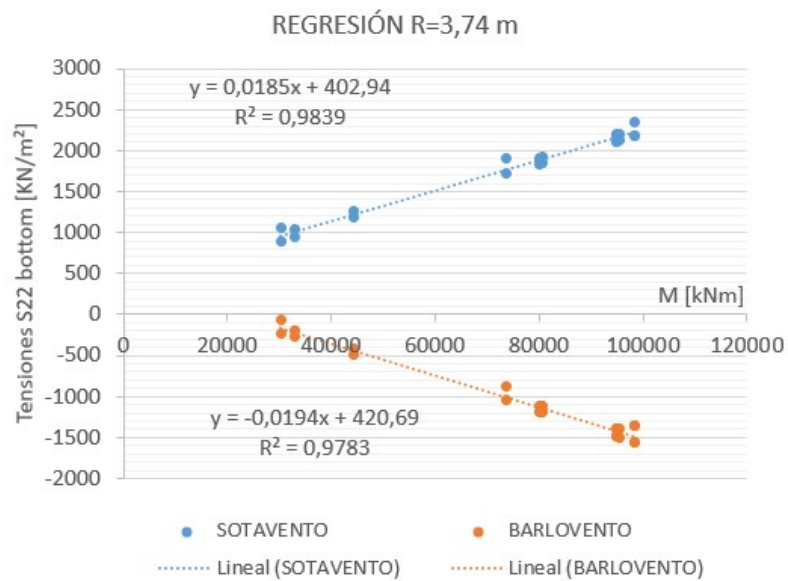


Figura N° 60 – Curva de regresión para S22 bottom en R= 2,70 m

A continuación, se muestra una fracción de la matriz de Markov en la que se evalúa el índice de daños:



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas



| MY_0405 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------|--------|--------|-------|----------|------------------|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | n | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{cd,max}$ | $S_{cd,min}$ | ΔS_{cd} | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = Σ n/N |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2.94E+00 | 37750 | 38250 | 0.31 | 0.32 | 0.02 | 0.02 | 6.48E-04 | 12.1 | 26.7 | 12046 | 12046 | 2.9E-307 | 3,5E-116 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2.94E+00 | 34750 | 35250 | 0.25 | 0.26 | 0.02 | 0.02 | 6.48E-04 | 12.1 | 26.7 | 12076 | 12076 | 2.9E-307 | 5,9E-307 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1.59E+00 | 32750 | 33250 | 0.21 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.6 | 12096 | 12096 | 1.6E-307 | 7,5E-307 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1.63E+00 | 32250 | 32750 | 0.20 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.6 | 12101 | 12101 | 1.6E-307 | 9,1E-307 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1.15E+00 | 31750 | 32250 | 0.20 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.6 | 12105 | 12105 | 1.1E-307 | 1,0E-306 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1.01E+00 | 31250 | 31750 | 0.19 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.6 | 12110 | 12110 | 1.0E-307 | 1,1E-306 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5.36E-01 | 29750 | 30250 | 0.16 | 0.17 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12125 | 12125 | 5.4E-308 | 1,2E-306 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6.11E-01 | 29250 | 29750 | 0.15 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12129 | 12129 | 6.1E-308 | 1,2E-306 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4.78E-01 | 28750 | 29250 | 0.14 | 0.15 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12134 | 12134 | 4.8E-308 | 1,3E-306 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5.70E-01 | 28250 | 28750 | 0.13 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12139 | 12139 | 5.7E-308 | 1,3E-306 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5.15E+00 | 27750 | 28250 | 0.12 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12143 | 12143 | 5.1E-307 | 1,9E-306 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4.06E+00 | 27250 | 27750 | 0.11 | 0.12 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12148 | 12148 | 4.1E-307 | 2,3E-306 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2.77E+00 | 26750 | 27250 | 0.10 | 0.11 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12153 | 12153 | 2.8E-307 | 2,5E-306 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1.20E+00 | 26250 | 26750 | 0.09 | 0.10 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12157 | 12157 | 1.2E-307 | 2,7E-306 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1.29E+00 | 25750 | 26250 | 0.08 | 0.09 | 0.01 | 0.01 | 6.48E-04 | 12.0 | 26.5 | 12162 | 12162 | 1.3E-307 | 2,8E-306 |

| MY_0405 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|---------------|----------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-----------------|--------|--------|----------|----------|----------|------------------|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | n | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{cd,max}$ | $S_{cd,min}$ | ΔS_{cd} | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = Σ n/N |
| | | | | | | | | | | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2.81E+00 | 36750 | 37250 | 0.29 | 0.30 | 0.02 | 0.02 | 6.5E-04 | 12.1 | 26.7 | 12056.08 | 12056.08 | 2.8E-307 | 9,6E-118 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5.75E-01 | 35250 | 35750 | 0.26 | 0.27 | 0.02 | 0.02 | 6.5E-04 | 12.1 | 26.7 | 12071.13 | 12071.13 | 5.7E-308 | 3,4E-307 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2.81E+00 | 34750 | 35250 | 0.25 | 0.26 | 0.02 | 0.02 | 6.5E-04 | 12.1 | 26.7 | 12076.10 | 12076.10 | 2.8E-307 | 6,2E-307 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1.42E+00 | 32750 | 33250 | 0.21 | 0.22 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.6 | 12095.77 | 12095.77 | 1.4E-307 | 7,6E-307 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1.84E+00 | 32250 | 32750 | 0.20 | 0.21 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.6 | 12100.63 | 12100.63 | 1.8E-307 | 9,4E-307 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1.68E+00 | 31750 | 32250 | 0.20 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.6 | 12105.47 | 12105.47 | 1.7E-307 | 1,1E-306 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5.91E-01 | 31250 | 31750 | 0.19 | 0.20 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.6 | 12110.29 | 12110.29 | 5.9E-308 | 1,2E-306 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1.15E+00 | 30250 | 30750 | 0.17 | 0.18 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.6 | 12119.86 | 12119.86 | 1.2E-307 | 1,3E-306 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5.14E-01 | 29750 | 30250 | 0.16 | 0.17 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12124.61 | 12124.61 | 5.1E-308 | 1,3E-306 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1.03E-01 | 29250 | 29750 | 0.15 | 0.16 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12129.34 | 12129.34 | 0.0E+00 | 1,3E-306 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2.73E-01 | 28750 | 29250 | 0.14 | 0.15 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12134.04 | 12134.04 | 2.7E-308 | 1,4E-306 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3.35E-01 | 28250 | 28750 | 0.13 | 0.14 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12138.73 | 12138.73 | 3.4E-308 | 1,4E-306 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1.85E+00 | 27750 | 28250 | 0.12 | 0.13 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12143.39 | 12143.39 | 1.9E-307 | 1,6E-306 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3.82E+00 | 27250 | 27750 | 0.11 | 0.12 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12148.03 | 12148.03 | 3.8E-307 | 2,0E-306 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4.89E+00 | 26750 | 27250 | 0.10 | 0.11 | 0.01 | 0.01 | 6.5E-04 | 12.0 | 26.5 | 12152.65 | 12152.65 | 4.9E-307 | 2,5E-306 |

Tabla N° 48 – Evaluación de D para S22 bottom (CASE I, II)

En ambos casos, se observa que los índices de daños (en amarillo) son menores que Dlim=1. Por lo tanto, estamos en buenas condiciones



6.4.1.4. TENSIONES CIRCUNFERENCIALES SUPERIORES

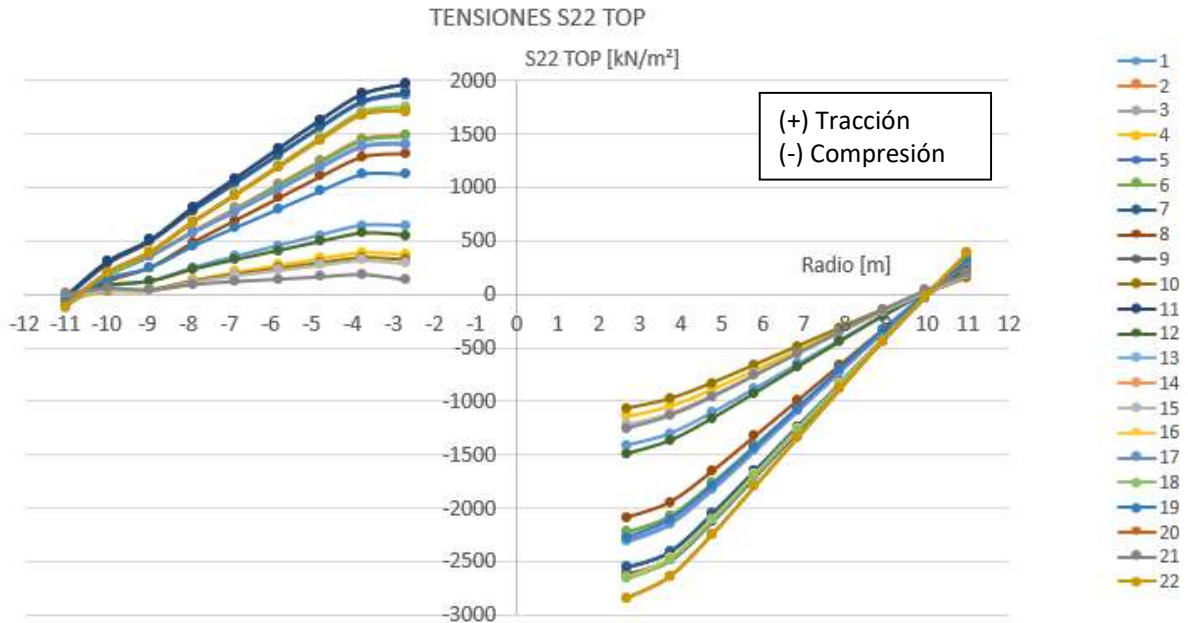


Figura N° 61 – Tensiones S22 top en ELU

Para las tensiones circunferenciales superiores tenemos la siguiente curva de regresión

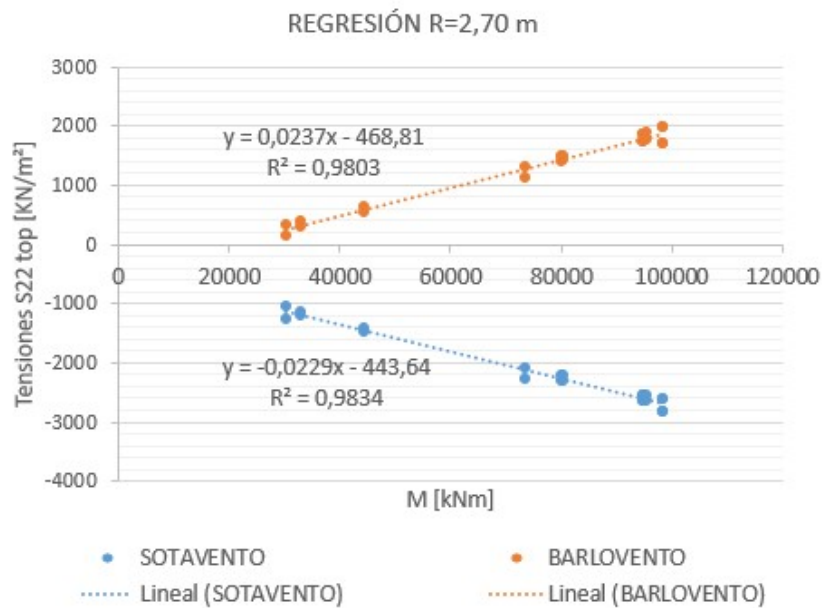


Figura N° 62 – Curva de regresión para S22 top en R= 2,70 m

A continuación, se muestra una fracción de la matriz de Markov en la que se evalúa el índice de daños:



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas**



| MY_0405 | | | | | | | | | | | | HORMIGÓN S22 - TOP - TENSIONES DE COMPRESION | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|---------------|---------------|-------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-----------------|--|---------|---------|----------|----------|----------------|--|--|--|--|--|--|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | Mean [kNm] | n | Maximo [kNm] | Mínimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{cd,max}$ | $S_{cd,min}$ | ΔS_{cd} | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = $\sum n/N$ | | | | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 1,31 | 1,32 | 0,09 | 0,09 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,7 | 9660,38 | 9660,38 | 2,9E-307 | 8,1E-64 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 1,24 | 1,25 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9704,02 | 9704,02 | 2,9E-307 | 5,9E-307 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 1,19 | 1,21 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9732,61 | 9732,61 | 1,6E-307 | 7,5E-307 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 1,18 | 1,19 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9739,69 | 9739,69 | 1,6E-307 | 9,1E-307 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 1,17 | 1,18 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9746,75 | 9746,75 | 1,1E-307 | 1,0E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 1,16 | 1,17 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,6 | 9753,78 | 9753,78 | 1,0E-307 | 1,1E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 1,12 | 1,14 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9774,72 | 9774,72 | 5,4E-308 | 1,2E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 1,11 | 1,12 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9781,65 | 9781,65 | 6,1E-308 | 1,2E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 1,10 | 1,11 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9788,55 | 9788,55 | 4,8E-308 | 1,3E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 1,09 | 1,10 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9795,43 | 9795,43 | 5,7E-308 | 1,3E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 1,08 | 1,09 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9802,28 | 9802,28 | 5,1E-307 | 1,9E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 1,07 | 1,08 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9809,11 | 9809,11 | 4,1E-307 | 2,3E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 1,06 | 1,07 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9815,91 | 9815,91 | 2,8E-307 | 2,5E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 1,04 | 1,06 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9822,68 | 9822,68 | 1,2E-307 | 2,7E-306 | | | | | | | |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 1,03 | 1,04 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,4 | 9829,43 | 9829,43 | 1,3E-307 | 2,8E-306 | | | | | | | |

| MY_0405 | | | | | | | | | | | | HORMIGÓN S22 - TOP - TENSIONES DE COMPRESION | | | | | | | | | | | |
|---------|----------------|---------------|---------------|-------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|--------------|--------------|-----------------|--|---------|---------|----------|----------|----------------|--|--|--|--|--|--|
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | Mean [kNm] | n | Maximo [kNm] | Mínimo [kNm] | $\sigma_{c,max}$ [MPa] | $\sigma_{c,min}$ [MPa] | $S_{cd,max}$ | $S_{cd,min}$ | ΔS_{cd} | log N1 | log N2 | log N3 | log N | n/N | D = $\sum n/N$ | | | | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750 | 37250 | 1,29 | 1,30 | 0,09 | 0,09 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,7 | 9675,03 | 9675,03 | 2,8E-307 | 1,7E-64 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250 | 35750 | 1,25 | 1,26 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9690,81 | 9690,81 | 5,7E-308 | 3,4E-307 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750 | 35250 | 1,24 | 1,25 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9704,02 | 9704,02 | 2,8E-307 | 6,2E-307 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750 | 33250 | 1,19 | 1,21 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9732,61 | 9732,61 | 1,4E-307 | 7,6E-307 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250 | 32750 | 1,18 | 1,19 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9739,69 | 9739,69 | 1,8E-307 | 9,4E-307 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750 | 32250 | 1,17 | 1,18 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,3 | 27,6 | 9746,75 | 9746,75 | 1,7E-307 | 1,1E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250 | 31750 | 1,16 | 1,17 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,6 | 9753,78 | 9753,78 | 5,9E-308 | 1,2E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250 | 30750 | 1,14 | 1,15 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9767,77 | 9767,77 | 1,2E-307 | 1,3E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750 | 30250 | 1,12 | 1,14 | 0,08 | 0,08 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9774,72 | 9774,72 | 5,1E-308 | 1,3E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250 | 29750 | 1,11 | 1,12 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9781,65 | 9781,65 | 0,0E+00 | 1,3E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750 | 29250 | 1,10 | 1,11 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9788,55 | 9788,55 | 2,7E-308 | 1,4E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250 | 28750 | 1,09 | 1,10 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9795,43 | 9795,43 | 3,4E-308 | 1,4E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750 | 28250 | 1,08 | 1,09 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9802,28 | 9802,28 | 1,9E-307 | 1,6E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250 | 27750 | 1,07 | 1,08 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9809,11 | 9809,11 | 3,8E-307 | 2,0E-306 | | | | | | | |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750 | 27250 | 1,06 | 1,07 | 0,07 | 0,07 | 7,7E-04 | 12,2 | 27,5 | 9815,91 | 9815,91 | 4,9E-307 | 2,5E-306 | | | | | | | |

Tabla N° 49 – Evaluación de D para S22 top (CASE I, II)



En ambos casos, se observa que los índices de daños (en amarillo) son menores que $D_{lim}=1$. Por lo tanto, estamos en buenas condiciones

6.4.2. ACERO

fck = 30 MPa
 $\gamma_f = 1,1$
 $\gamma_c = 1,5$
 $\gamma_s = 1,15$
 fcd,fat = 14,96 MPa
 fcd = 20 MPa

| PROP. MECÁNICAS MATERIAL | | | |
|--------------------------|--------|-------------------|---------|
| fcd = | 20 MPa | ϵ_{cu} = | 0,0055 |
| η = | 1 | ϵ_{ud} = | 0,01 |
| λ = | 0,8 | ϵ_{c3} = | 0,00175 |
| | | ϵ_{cu} = | 0,0035 |

A continuación, se muestran los diagramas de esfuerzos internos en la sección más solicitada. Además, se muestran los diagramas de regresión en las secciones críticas para obtener estas solicitaciones para cualquier estado de carga que se contemplen en las matrices de fatiga.

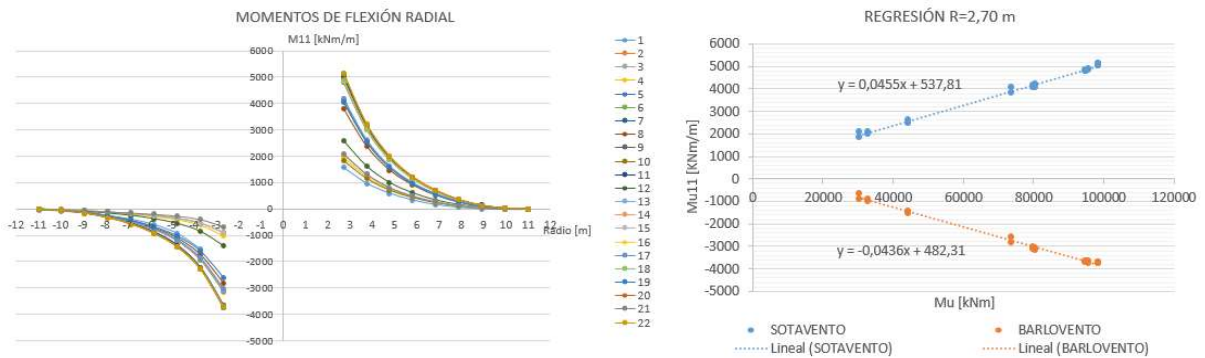


Figura N° 63 – Momentos M11 y curva de regresión para Mu11 en R= 2,70 m

| | | | |
|---|-----------------|---|-----------|
| (+) Tracción abajo (-) Tracción arriba | RADIAL INFERIOR | A | 0,0455 x |
| | | B | 537,8100 |
| | RADIAL SUPERIOR | C | -0,0436 x |
| | | D | 482,3100 |

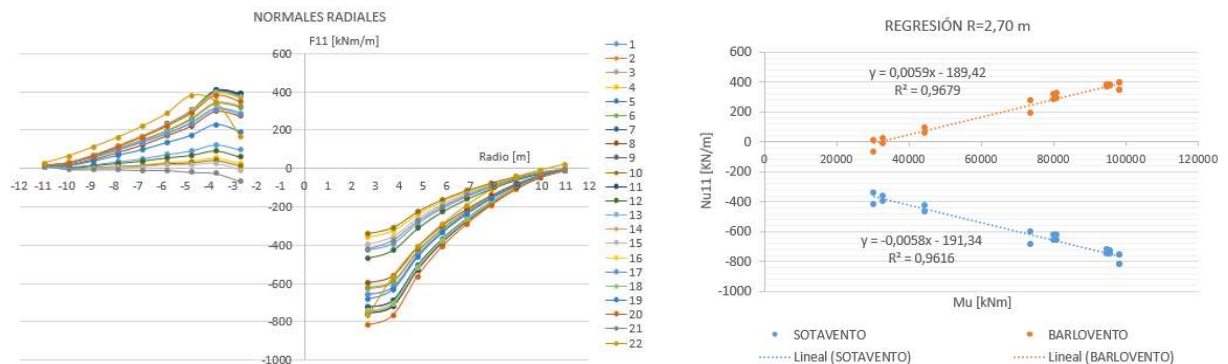


Figura N° 64 – Normales F11 y curva de regresión para Nu11 en R= 2,70 m



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas



(+) Tracción
(-) Compresión

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| RADIAL INFERIOR | C | -0,0058 x |
| | D | -191,3400 |
| RADIAL SUPERIOR | A | 0,0059 x |
| | B | -189,4200 |

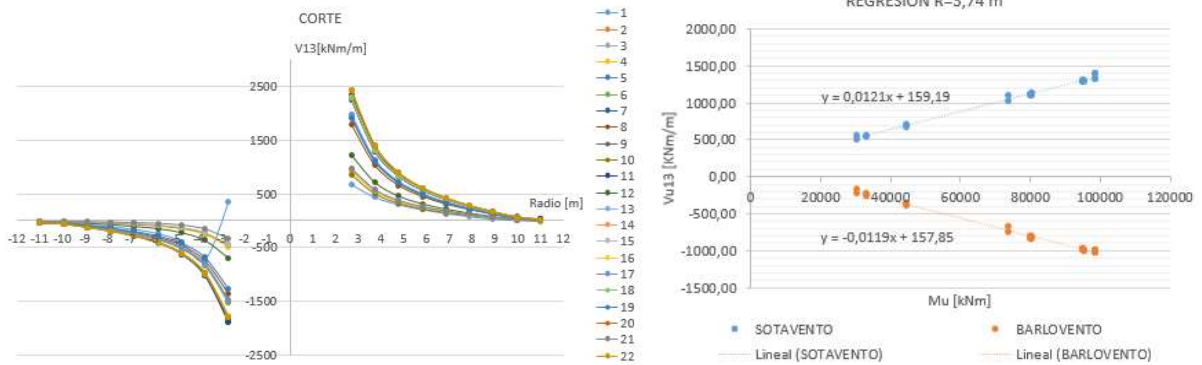


Figura Nº 65 – Corte V13 y curva de regresión para Vu13 en R= 3,74 m

| | | |
|------------|---|-----------|
| SOTAVENTO | A | 0,0121 x |
| | B | 159,1900 |
| BARLOVENTO | C | -0,0119 x |
| | D | 157,8500 |

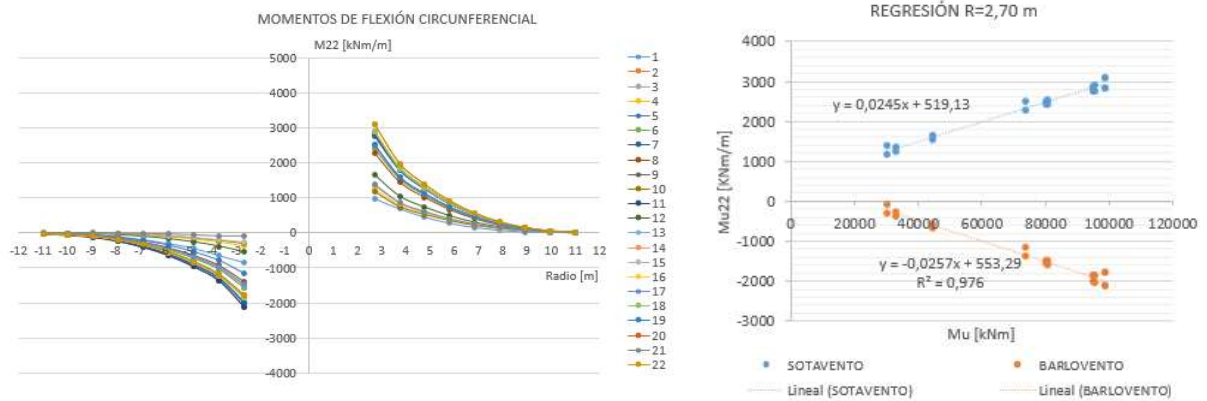


Figura Nº 66 – Momentos M22 y curva de regresión para Mu22 en R= 2,70 m

(+) Tracción abajo
(-) Tracción arriba

| | | |
|-----------------|---|-----------|
| RADIAL INFERIOR | A | 0,0245 x |
| | B | 519,13 |
| RADIAL SUPERIOR | C | -0,0257 x |
| | D | 553,29 |



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas

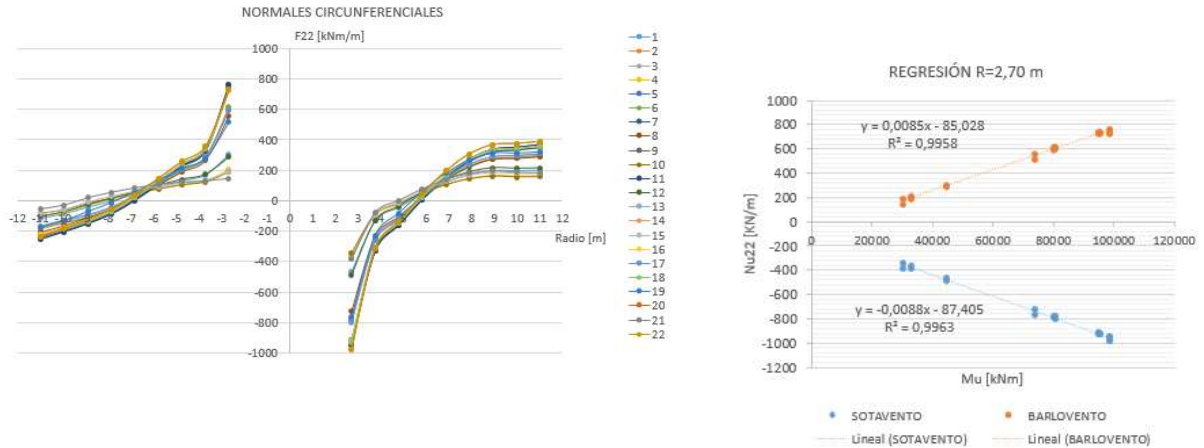


Figura N° 67 – Normales F22 y curva de regresión para Nu22 en R= 2,70 m

| | | | |
|--------------------------------|-----------------|---|------------|
| (+) Tracción (-) Compresión | RADIAL INFERIOR | C | -0,00880 x |
| | | D | -87,41 |
| | RADIAL SUPERIOR | A | 0,0085 x |
| | | B | -85,03 |

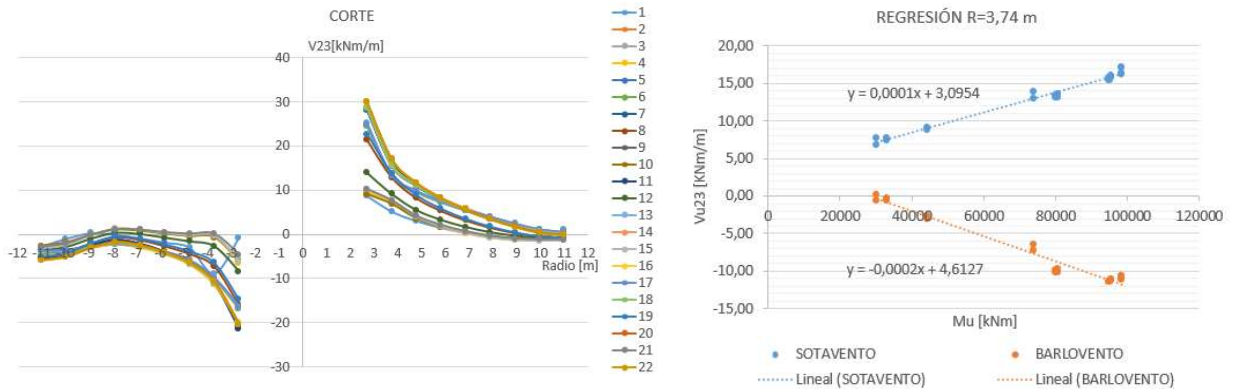


Figura N° 68 – Corte V23 y curva de regresión para Vu23 en R= 3,74 m

| | | |
|------------|---|-----------|
| SOTAVENTO | A | 0,0001 x |
| | B | 3,0954 |
| BARLOVENTO | C | -0,0002 x |
| | D | 4,6127 |

6.4.2.1. ARMADURA RADIAL INFERIOR

| Parámetros de la ecuación - Para momento tracción abajo | | | |
|---|---------|--------|--|
| | F11 | M11 | |
| A = | -0,0058 | 0,0455 | |
| B = | -191,34 | 537,81 | |

| PROPIEDADES DE SECCIÓN | |
|------------------------|--------|
| b = | 1,00 m |
| d = | 2,32 m |
| h = | 2,40 m |

| PARÁMETROS DE LA CURVA S-N | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|-----|--------|
| Para barras rectas y dobladas | | | | | | |
| N* | k1 | k2 | Ø [mm] | 16 | 40 | 25 |
| 1000000 | -5 | -9 | ΔσRsk | 210 | 160 | 191,25 |
| | -0,20 | -0,11 | ΔσRsd | | | 166,30 |

| MY_0405 | | | | ACERO - RADIAL INFERIOR | | | | | | | |
|---------|-------------|------------|----------|-----------------------------------|--------------|------------|-----------|------------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | D = Σ ni/Ni = 2,03E-03 < Dlim = 1 | | | | | | | |
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | ni | 7,05E+04 0,00E+00 | | As [cm²/m] | Δσs [MPa] | Δσsd [MPa] | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | | | | Maximo [kNm] | Mínimo [kNm] | | | | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 80,50 | 16,812 | 21,267 | 15 | 3,85E+14 | 7,64E-15 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 80,50 | 1,066 | 1,349 | 25 | 2,32E+25 | 1,27E-25 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 80,50 | 1,065 | 1,347 | 25 | 2,34E+25 | 6,77E-26 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 80,50 | 1,065 | 1,347 | 25 | 2,35E+25 | 6,94E-26 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 80,50 | 1,064 | 1,346 | 25 | 2,36E+25 | 4,86E-26 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 80,50 | 1,064 | 1,346 | 25 | 2,37E+25 | 4,26E-26 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 80,50 | 1,063 | 1,344 | 25 | 2,39E+25 | 2,25E-26 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 80,50 | 1,062 | 1,344 | 25 | 2,39E+25 | 2,55E-26 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 80,50 | 1,062 | 1,343 | 25 | 2,40E+25 | 1,99E-26 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 80,50 | 1,062 | 1,343 | 25 | 2,41E+25 | 2,37E-26 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 80,50 | 1,061 | 1,343 | 25 | 2,42E+25 | 2,13E-25 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 80,50 | 1,061 | 1,342 | 25 | 2,42E+25 | 1,67E-25 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 80,50 | 1,061 | 1,342 | 25 | 2,43E+25 | 1,14E-25 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 80,50 | 1,060 | 1,341 | 25 | 2,44E+25 | 4,90E-26 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 80,50 | 1,060 | 1,341 | 25 | 2,45E+25 | 5,29E-26 |

Tabla N° 50 – Evaluación de D para Armadura Radial Inferior (CASE I)

| MY_0405 | | | | ACERO - RADIAL INFERIOR | | | | | | | |
|---------|-------------|------------|----------|--|--------------|------------|-----------|------------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | 132,09 D = Σ ni/Ni = 1,85E-03 < Dlim = 1 | | | | | | | |
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | ni | 6,90E+04 0,00E+00 | | As [cm²/m] | Δσs [MPa] | Δσsd [MPa] | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | | | | Maximo [kNm] | Mínimo [kNm] | | | | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750 | 37250 | 80,50 | 18,949 | 23,970 | 14 | 1,31E+14 | 2,14E-14 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250 | 35750 | 80,50 | 1,067 | 1,349 | 25 | 2,31E+25 | 2,49E-26 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750 | 35250 | 80,50 | 1,066 | 1,349 | 25 | 2,32E+25 | 1,21E-25 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750 | 33250 | 80,50 | 1,065 | 1,347 | 25 | 2,34E+25 | 6,04E-26 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250 | 32750 | 80,50 | 1,065 | 1,347 | 25 | 2,35E+25 | 7,81E-26 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750 | 32250 | 80,50 | 1,064 | 1,346 | 25 | 2,36E+25 | 7,12E-26 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250 | 31750 | 80,50 | 1,064 | 1,346 | 25 | 2,37E+25 | 2,50E-26 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250 | 30750 | 80,50 | 1,063 | 1,345 | 25 | 2,38E+25 | 4,84E-26 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750 | 30250 | 80,50 | 1,063 | 1,344 | 25 | 2,39E+25 | 2,15E-26 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250 | 29750 | 80,50 | 1,062 | 1,344 | 25 | 2,39E+25 | 4,31E-27 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750 | 29250 | 80,50 | 1,062 | 1,343 | 25 | 2,40E+25 | 1,14E-26 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250 | 28750 | 80,50 | 1,062 | 1,343 | 25 | 2,41E+25 | 1,39E-26 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750 | 28250 | 80,50 | 1,061 | 1,343 | 25 | 2,42E+25 | 7,66E-26 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250 | 27750 | 80,50 | 1,061 | 1,342 | 25 | 2,42E+25 | 1,58E-25 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750 | 27250 | 80,50 | 1,061 | 1,342 | 25 | 2,43E+25 | 2,01E-25 |

Tabla N° 51 – Evaluación de D para Armadura Radial Inferior (CASE II)

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, la armadura está en buenas condiciones.

6.4.2.2. ARMADURA RADIAL SUPERIOR

| Parámetros de la ecuación - Para momento tracción arriba | | | |
|--|---------|---------|--|
| | F11 | M11 | |
| A = | 0,0059 | -0,0436 | |
| B = | -189,42 | 482,31 | |

| PROPIEDADES DE SECCIÓN | |
|------------------------|--------|
| b = | 1,00 m |
| d = | 2,32 m |
| h = | 2,40 m |

| PARÁMETROS DE LA CURVA S-N | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|-----|--------|
| Para barras rectas y dobladas | | | | | | |
| N* | k1 | k2 | Ø [mm] | 16 | 40 | 25 |
| 1000000 | -5 | -9 | ΔσRsk | 210 | 160 | 191,25 |
| | -0,20 | -0,11 | ΔσRsd | | | 166,30 |

| MY_0405 | | | | | | ACERO - RADIAL SUPERIOR | | | | | |
|---------|-------------|------------|----------|--------------|--------------|-------------------------|-----------|------------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | | | D = Σ ni/Ni = 3,46E-02 | | | | | |
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | ni | 7,05E+04 | 0,00E+00 | As [cm²/m] | Δσs [MPa] | Δσsd [MPa] | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | | | | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | | | | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 69,19 | 1,591 | 2,013 | 24 | 6,32E+23 | 4,65E-24 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 69,19 | 1,590 | 2,011 | 24 | 6,36E+23 | 4,62E-24 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 69,19 | 1,589 | 2,010 | 24 | 6,39E+23 | 2,48E-24 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 69,19 | 1,589 | 2,010 | 24 | 6,40E+23 | 2,55E-24 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 69,19 | 1,589 | 2,009 | 24 | 6,41E+23 | 1,79E-24 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 69,19 | 1,588 | 2,009 | 24 | 6,41E+23 | 1,57E-24 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 69,19 | 1,588 | 2,008 | 24 | 6,44E+23 | 8,33E-25 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 69,19 | 1,588 | 2,008 | 24 | 6,44E+23 | 9,47E-25 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 69,19 | 1,587 | 2,008 | 24 | 6,45E+23 | 7,41E-25 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 69,19 | 1,587 | 2,008 | 24 | 6,46E+23 | 8,83E-25 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 69,19 | 1,587 | 2,007 | 24 | 6,47E+23 | 7,96E-24 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 69,19 | 1,587 | 2,007 | 24 | 6,47E+23 | 6,27E-24 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 69,19 | 1,586 | 2,007 | 24 | 6,48E+23 | 4,28E-24 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 69,19 | 1,586 | 2,007 | 24 | 6,49E+23 | 1,84E-24 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 69,19 | 1,586 | 2,006 | 24 | 6,50E+23 | 1,99E-24 |

< Dlim = 1

Tabla Nº 52 – Evaluación de D para Armadura Radial Superior (CASE I)

| MY_0405 | | | | | | ACERO - RADIAL SUPERIOR | | | | | |
|---------|-------------|------------|----------|--------------|--------------|-------------------------------|-----------|------------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | | | 166,01 D = Σ ni/Ni = 3,56E-02 | | | | | |
| L/C | Width [kNm] | Mean [kNm] | ni | 6,90E+04 | 0,00E+00 | As [cm²/m] | Δσs [MPa] | Δσsd [MPa] | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | | | | Maximo [kNm] | Minimo [kNm] | | | | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750 | 37250 | 69,19 | 1,591 | 2,012 | 24 | 6,33E+23 | 4,44E-24 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250 | 35750 | 69,19 | 1,590 | 2,011 | 24 | 6,36E+23 | 9,05E-25 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750 | 35250 | 69,19 | 1,590 | 2,011 | 24 | 6,36E+23 | 4,42E-24 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750 | 33250 | 69,19 | 1,589 | 2,010 | 24 | 6,39E+23 | 2,22E-24 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250 | 32750 | 69,19 | 1,589 | 2,010 | 24 | 6,40E+23 | 2,87E-24 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750 | 32250 | 69,19 | 1,589 | 2,009 | 24 | 6,41E+23 | 2,62E-24 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250 | 31750 | 69,19 | 1,588 | 2,009 | 24 | 6,41E+23 | 9,21E-25 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250 | 30750 | 69,19 | 1,588 | 2,009 | 24 | 6,43E+23 | 1,79E-24 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750 | 30250 | 69,19 | 1,588 | 2,008 | 24 | 6,44E+23 | 7,99E-25 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250 | 29750 | 69,19 | 1,588 | 2,008 | 24 | 6,44E+23 | 1,60E-25 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750 | 29250 | 69,19 | 1,587 | 2,008 | 24 | 6,45E+23 | 4,23E-25 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250 | 28750 | 69,19 | 1,587 | 2,008 | 24 | 6,46E+23 | 5,19E-25 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750 | 28250 | 69,19 | 1,587 | 2,007 | 24 | 6,47E+23 | 2,86E-24 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250 | 27750 | 69,19 | 1,587 | 2,007 | 24 | 6,47E+23 | 5,90E-24 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750 | 27250 | 69,19 | 1,586 | 2,007 | 24 | 6,48E+23 | 7,54E-24 |

< Dlim = 1

Tabla Nº 53 – Evaluación de D para Armadura Radial Superior (CASE II)

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, la armadura está en buenas condiciones.

6.4.2.3. ARMADURA CIRCUNFERENCIAL INFERIOR

| Parámetros de la ecuación - Para momento tracción abajo | | |
|---|---------|--------|
| | F22 | M22 |
| A = | -0,0088 | 0,0245 |
| B = | -87,405 | 519,13 |

| PROPIEDADES DE SECCIÓN | | |
|------------------------|------|---|
| b = | 1,00 | m |
| d = | 2,32 | m |
| h = | 2,40 | m |

| PARÁMETROS DE LA CURVA S-N | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|-----|--------|
| Para barras rectas y dobladas | | | | | | |
| N* | k1 | k2 | Ø [mm] | 16 | 40 | 25 |
| 1000000 | -5 | -9 | ΔσRsk | 210 | 160 | 191,25 |
| | -0,20 | -0,11 | ΔσRsd | | | 166,30 |

| MY_0405 | | | | | ACERO - CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | | |
|---------|-------|--------|----------|--------|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | | 85,38 | | | | | | |
| | | | | | D = Σ ni/Ni = 3,49E-05 < Dlim = 1 | | | | | | |
| L/C | Width | Mean | ni | Maximo | Minimo | As | Δσs | Δσsd | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | [kNm] | [kNm] | | [kNm] | [kNm] | [cm²/m] | [MPa] | [MPa] | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 46,13 | 0,681 | 0,861 | 27 | 1,31E+27 | 2,23E-27 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 46,13 | 0,679 | 0,859 | 27 | 1,34E+27 | 2,19E-27 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 46,13 | 0,678 | 0,858 | 27 | 1,36E+27 | 1,16E-27 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 46,13 | 0,678 | 0,857 | 27 | 1,37E+27 | 1,19E-27 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 46,13 | 0,677 | 0,857 | 27 | 1,37E+27 | 8,34E-28 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 46,13 | 0,677 | 0,857 | 27 | 1,38E+27 | 7,32E-28 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 46,13 | 0,676 | 0,856 | 27 | 1,39E+27 | 3,85E-28 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 46,13 | 0,676 | 0,855 | 27 | 1,40E+27 | 4,37E-28 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 46,13 | 0,676 | 0,855 | 27 | 1,40E+27 | 3,41E-28 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 46,13 | 0,676 | 0,855 | 27 | 1,41E+27 | 4,05E-28 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 46,13 | 0,675 | 0,854 | 27 | 1,41E+27 | 3,65E-27 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 46,13 | 0,675 | 0,854 | 27 | 1,42E+27 | 2,86E-27 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 46,13 | 0,675 | 0,854 | 27 | 1,42E+27 | 1,95E-27 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 46,13 | 0,675 | 0,853 | 27 | 1,43E+27 | 8,37E-28 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 46,13 | 0,674 | 0,853 | 27 | 1,43E+27 | 9,03E-28 |

Tabla N° 54 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Inferior (CASE I)

| MY_0405 | | | | | ACERO - CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | | |
|---------|-------|--------|----------|--------|-----------------------------------|---------|-------|-------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | | 84,10 | | | | | | |
| | | | | | D = Σ ni/Ni = 3,18E-05 < Dlim = 1 | | | | | | |
| L/C | Width | Mean | ni | Maximo | Minimo | As | Δσs | Δσsd | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | [kNm] | [kNm] | | [kNm] | [kNm] | [cm²/m] | [MPa] | [MPa] | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750 | 37250 | 46,13 | 0,680 | 0,860 | 27 | 1,32E+27 | 2,12E-27 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250 | 35750 | 46,13 | 0,679 | 0,859 | 27 | 1,34E+27 | 4,30E-28 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750 | 35250 | 46,13 | 0,679 | 0,859 | 27 | 1,34E+27 | 2,09E-27 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750 | 33250 | 46,13 | 0,678 | 0,858 | 27 | 1,36E+27 | 1,04E-27 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250 | 32750 | 46,13 | 0,678 | 0,857 | 27 | 1,37E+27 | 1,34E-27 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750 | 32250 | 46,13 | 0,677 | 0,857 | 27 | 1,37E+27 | 1,22E-27 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250 | 31750 | 46,13 | 0,677 | 0,857 | 27 | 1,38E+27 | 4,29E-28 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250 | 30750 | 46,13 | 0,677 | 0,856 | 27 | 1,39E+27 | 8,30E-28 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750 | 30250 | 46,13 | 0,676 | 0,856 | 27 | 1,39E+27 | 3,69E-28 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250 | 29750 | 46,13 | 0,676 | 0,855 | 27 | 1,40E+27 | 7,39E-29 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750 | 29250 | 46,13 | 0,676 | 0,855 | 27 | 1,40E+27 | 1,95E-28 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250 | 28750 | 46,13 | 0,676 | 0,855 | 27 | 1,41E+27 | 2,38E-28 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750 | 28250 | 46,13 | 0,675 | 0,854 | 27 | 1,41E+27 | 1,31E-27 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250 | 27750 | 46,13 | 0,675 | 0,854 | 27 | 1,42E+27 | 2,70E-27 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750 | 27250 | 46,13 | 0,675 | 0,854 | 27 | 1,42E+27 | 3,43E-27 |

Tabla N° 55 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Inferior (CASE II)

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, la armadura está en buenas condiciones.

6.4.2.4. ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR

| Parámetros de la ecuación - Para momento tracción arriba | | |
|--|---------|---------|
| | F22 | M22 |
| A = | 0,0085 | -0,0257 |
| B = | -85,028 | 553,29 |
| C = | | |

| PROPIEDADES DE SECCIÓN | | |
|------------------------|------|---|
| b = | 1,00 | m |
| d = | 2,32 | m |
| h = | 2,40 | m |

| PARÁMETROS DE LA CURVA S-N | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|-----|--------|
| Para barras rectas y dobladas | | | | | | |
| N* | k1 | k2 | Ø [mm] | 16 | 40 | 25 |
| 1000000 | -5 | -9 | ΔσRsk | 210 | 160 | 191,25 |
| | -0,20 | -0,11 | ΔσRsd | | | 166,30 |

| MY_0405 | | | | ACERO - CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | | | |
|---------|-------|--------|----------|-----------------------------------|----------|---------|--------|--------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | 164,53 | | | | | | | |
| | | | | D = Σ ni/Ni = 2,94E-02 < Dlim = 1 | | | | | | | |
| L/C | Width | Mean | ni | 7,05E+04 | 0,00E+00 | As | Δσs | Δσsd | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | [kNm] | [kNm] | | Maximo | Mínimo | [cm²/m] | [MPa] | [MPa] | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 24,13 | 57,956 | 73,315 | 10 | 5,59E+09 | 5,25E-10 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 25,13 | 44,567 | 56,377 | 11 | 5,95E+10 | 4,94E-11 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 26,13 | 35,542 | 44,961 | 12 | 4,56E+11 | 3,48E-12 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 27,13 | 31,203 | 39,472 | 12 | 1,47E+12 | 1,11E-12 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 28,13 | 27,292 | 34,524 | 13 | 4,91E+12 | 2,33E-13 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 29,13 | 23,764 | 30,062 | 13 | 1,71E+13 | 5,90E-14 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 30,13 | 18,801 | 23,783 | 14 | 1,41E+14 | 3,81E-15 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 31,13 | 16,096 | 20,361 | 15 | 5,69E+14 | 1,07E-15 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 32,13 | 13,664 | 17,285 | 15 | 2,49E+15 | 1,92E-16 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 33,13 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 34,13 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 35,13 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 36,13 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 37,13 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 38,13 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |

Tabla N° 56 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Superior (CASE I)

| MY_0405 | | | | ACERO - CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | | | |
|---------|-------|--------|----------|-----------------------------------|----------|---------|-------|-------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | 162,01 | | | | | | | |
| | | | | D = Σ ni/Ni = 3,19E-02 < Dlim = 1 | | | | | | | |
| L/C | Width | Mean | ni | 6,90E+04 | 0,00E+00 | As | Δσs | Δσsd | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | [kNm] | [kNm] | | Maximo | Mínimo | [cm²/m] | [MPa] | [MPa] | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750,00 | 37250,00 | 46 | 1,678 | 2,123 | 24 | 3,91E+23 | 7,19E-24 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250,00 | 35750,00 | 46 | 1,678 | 2,123 | 24 | 3,91E+23 | 1,47E-24 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750,00 | 35250,00 | 46 | 1,678 | 2,123 | 24 | 3,91E+23 | 7,18E-24 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750,00 | 33250,00 | 46 | 1,678 | 2,122 | 24 | 3,92E+23 | 3,61E-24 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 3,23E+04 | 3,28E+04 | 46 | 1,678 | 2,122 | 24 | 3,92E+23 | 4,69E-24 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 3,18E+04 | 3,23E+04 | 46 | 1,678 | 2,122 | 24 | 3,92E+23 | 4,28E-24 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 3,13E+04 | 3,18E+04 | 46 | 1,678 | 2,122 | 24 | 3,92E+23 | 1,51E-24 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 3,03E+04 | 3,08E+04 | 46 | 1,677 | 2,122 | 24 | 3,92E+23 | 2,94E-24 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 2,98E+04 | 3,03E+04 | 46 | 1,677 | 2,122 | 24 | 3,92E+23 | 1,31E-24 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 2,93E+04 | 2,98E+04 | 46 | 1,677 | 2,122 | 24 | 3,93E+23 | 2,63E-25 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 2,88E+04 | 2,93E+04 | 46 | 1,677 | 2,122 | 24 | 3,93E+23 | 6,95E-25 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 2,83E+04 | 2,88E+04 | 46 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 2,78E+04 | 2,83E+04 | 46 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 2,73E+04 | 2,78E+04 | 46 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 2,68E+04 | 2,73E+04 | 46 | N/A | N/A | N/A | N/A | 0,00E+00 |

Tabla N° 57 – Evaluación de D para Armadura Circunferencial Superior (CASE II)

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, la armadura está en buenas condiciones.

6.4.2.5. ARMADURA DE CORTE

| Parámetros de la ecuación - Para corte | | |
|--|---|---------------|
| A = | 0 | V13 0,0121 |
| B = | 0 | 159,19 |
| C = | 0 | 0 |

| PROPIEDADES DE SECCIÓN | | |
|------------------------|------|---|
| b = | 1,00 | m |
| d = | 2,00 | m |
| h = | 2,18 | m |

| PARÁMETROS DE LA CURVA S-N | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|-----|--------|
| Para barras rectas y dobladas | | | | | | |
| N* | k1 | k2 | Ø [mm] | 16 | 40 | 20 |
| 1000000 | -5 | -9 | ΔσRsk | 210 | 160 | 201,67 |
| | -0,20 | -0,11 | ΔσRsd | | | 175,36 |



| MY_0405 | | | | | | ACERO - CORTE | | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|----------|--------|--------|------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | | | D = Σ ni/Ni = 6,26E-05 | | | | | | | |
| 7,05E+04 0,00E+00 | | | | | | < Dlim = 1 | | | | | | | |
| L/C | Width | Mean | ni | Maximo | Mínimo | As | Ved min | Ved max | Δσs | Δσsd | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | [kNm] | [kNm] | | [kNm] | [kNm] | [cm²/m] | [kN/m] | [kN/m] | [MPa] | [MPa] | | | |
| CASE I | 500 | -38000 | 2,94E+00 | 37750 | 38250 | 41,89 | 615,97 | 622,02 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 3,93E-27 |
| CASE I | 500 | -35000 | 2,94E+00 | 34750 | 35250 | 41,89 | 579,67 | 585,72 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 3,93E-27 |
| CASE I | 500 | -33000 | 1,59E+00 | 32750 | 33250 | 41,89 | 555,47 | 561,52 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 2,12E-27 |
| CASE I | 500 | -32500 | 1,63E+00 | 32250 | 32750 | 41,89 | 549,42 | 555,47 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 2,18E-27 |
| CASE I | 500 | -32000 | 1,15E+00 | 31750 | 32250 | 41,89 | 543,37 | 549,42 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,53E-27 |
| CASE I | 500 | -31500 | 1,01E+00 | 31250 | 31750 | 41,89 | 537,32 | 543,37 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,35E-27 |
| CASE I | 500 | -30000 | 5,36E-01 | 29750 | 30250 | 41,89 | 519,17 | 525,22 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 7,17E-28 |
| CASE I | 500 | -29500 | 6,11E-01 | 29250 | 29750 | 41,89 | 513,12 | 519,17 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 8,16E-28 |
| CASE I | 500 | -29000 | 4,78E-01 | 28750 | 29250 | 41,89 | 507,07 | 513,12 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 6,39E-28 |
| CASE I | 500 | -28500 | 5,70E-01 | 28250 | 28750 | 41,89 | 501,02 | 507,07 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 7,62E-28 |
| CASE I | 500 | -28000 | 5,15E+00 | 27750 | 28250 | 41,89 | 494,97 | 501,02 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 6,88E-27 |
| CASE I | 500 | -27500 | 4,06E+00 | 27250 | 27750 | 41,89 | 488,92 | 494,97 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 5,42E-27 |
| CASE I | 500 | -27000 | 2,77E+00 | 26750 | 27250 | 41,89 | 482,87 | 488,92 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 3,70E-27 |
| CASE I | 500 | -26500 | 1,20E+00 | 26250 | 26750 | 41,89 | 476,82 | 482,87 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,60E-27 |
| CASE I | 500 | -26000 | 1,29E+00 | 25750 | 26250 | 41,89 | 470,77 | 476,82 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,73E-27 |

Tabla Nº 58 – Evaluación de D para Armadura de Corte (CASE I)

| MY_0405 | | | | | | ACERO - CORTE | | | | | | | |
|-------------------|-------|--------|----------|--------|--------|------------------------|---------|---------|-------|-------|-------|----------|------------|
| (kNm) | | | | | | D = Σ ni/Ni = 5,70E-05 | | | | | | | |
| 6,90E+04 0,00E+00 | | | | | | < Dlim = 1 | | | | | | | |
| L/C | Width | Mean | ni | Maximo | Mínimo | As | Ved min | Ved max | Δσs | Δσsd | log N | Ni | Di = ni/Ni |
| | [kNm] | [kNm] | | [kNm] | [kNm] | [cm²/m] | [kN/m] | [kN/m] | [MPa] | [MPa] | | | |
| CASE II | 500 | -37000 | 2,81E+00 | 36750 | 37250 | 41,89 | 603,87 | 609,92 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 3,76E-27 |
| CASE II | 500 | -35500 | 5,75E-01 | 35250 | 35750 | 41,89 | 585,72 | 591,77 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 7,68E-28 |
| CASE II | 500 | -35000 | 2,81E+00 | 34750 | 35250 | 41,89 | 579,67 | 585,72 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 3,76E-27 |
| CASE II | 500 | -33000 | 1,42E+00 | 32750 | 33250 | 41,89 | 555,47 | 561,52 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,89E-27 |
| CASE II | 500 | -32500 | 1,84E+00 | 32250 | 32750 | 41,89 | 549,42 | 555,47 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 2,45E-27 |
| CASE II | 500 | -32000 | 1,68E+00 | 31750 | 32250 | 41,89 | 543,37 | 549,42 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 2,24E-27 |
| CASE II | 500 | -31500 | 5,91E-01 | 31250 | 31750 | 41,89 | 537,32 | 543,37 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 7,90E-28 |
| CASE II | 500 | -30500 | 1,15E+00 | 30250 | 30750 | 41,89 | 525,22 | 531,27 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,54E-27 |
| CASE II | 500 | -30000 | 5,14E-01 | 29750 | 30250 | 41,89 | 519,17 | 525,22 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 6,87E-28 |
| CASE II | 500 | -29500 | 1,03E-01 | 29250 | 29750 | 41,89 | 513,12 | 519,17 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 1,38E-28 |
| CASE II | 500 | -29000 | 2,73E-01 | 28750 | 29250 | 41,89 | 507,07 | 513,12 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 3,65E-28 |
| CASE II | 500 | -28500 | 3,35E-01 | 28250 | 28750 | 41,89 | 501,02 | 507,07 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 4,48E-28 |
| CASE II | 500 | -28000 | 1,85E+00 | 27750 | 28250 | 41,89 | 494,97 | 501,02 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 2,47E-27 |
| CASE II | 500 | -27500 | 3,82E+00 | 27250 | 27750 | 41,89 | 488,92 | 494,97 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 5,11E-27 |
| CASE II | 500 | -27000 | 4,89E+00 | 26750 | 27250 | 41,89 | 482,87 | 488,92 | 0,764 | 0,967 | 27 | 7,48E+26 | 6,53E-27 |

Tabla Nº 59 – Evaluación de D para Armadura de Corte (CASE II)

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, la armadura está en buenas condiciones.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

6.5. COMPROBACIONES EN FUSTE

6.5.1. GROUT

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 90 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 39,52 MPa |

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 90 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 39,52 MPa |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 0,95 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 66,60 MN |
| Radio Anillo | 2,07 m |
| Esp Anillo | 0,43 m |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 1,05 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 73,61 MN |
| Radio Anillo | 2,07 m |
| Esp Anillo | 0,43 m |



CASE I - MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|-----------------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 6,95E-07 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 5,91E-12 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 5,32E-06 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 3,24E-11 |

CASE II - MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|-----------------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 4,72E-07 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 4,11E-12 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 3,62E-06 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 2,30E-11 |

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, el grout se encuentra en buenas condiciones.

| | | |
|---|---|---|
|  | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA |  |
| | Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas | |

6.5.2. HORMIGON DEBAJO DEL GROUT

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 40 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 19,04 MPa |

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 40 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 19,04 MPa |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 0,95 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 66,60 MN |
| Radio Anillo | 2,065 m |
| Esp Anillo | 0,73 m |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 1,05 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 73,61 MN |
| Radio Anillo | 2,065 m |
| Esp Anillo | 0,73 m |

CASE I – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 2,59E-02 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,28E-08 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 2,27E-01 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 2,52E-08 |

CASE II – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 1,99E-02 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 9,72E-09 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 2,23E-01 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,95E-08 |

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, el hormigón debajo del grout se encuentra en buenas condiciones.

6.5.3. HORMIGON SOBRE BRIDA INFERIOR

CASE I – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|-----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 9,40E-04 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,01E-298 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 1,01E-298 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,01E-298 |

CASE II – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|-----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 1,36E-05 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,02E-298 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 1,02E-298 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,02E-298 |

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, el hormigón por encima de la brida inferior se encuentra en buenas condiciones.

6.5.4. ACERO DEBAJO DE LA BRIDA SUPERIOR

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 30 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 14,96 MPa |
| fcd = | 20 MPa |

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 30 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 14,96 MPa |
| fcd = | 20 MPa |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 0,95 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 66,60 MN |
| Radio Anillo | 2,065 m |
| Esp Anillo | 0,73 m |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 1,05 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 73,61 MN |
| Radio Anillo | 2,065 m |
| Esp Anillo | 0,73 m |



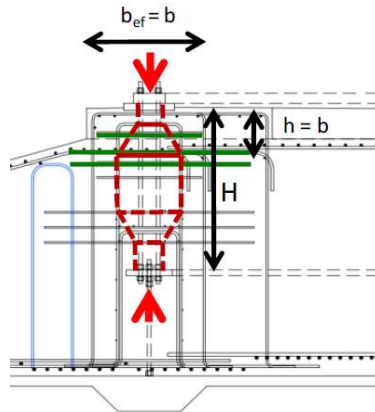
**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos
On-Shore con Torres Metálicas**



| | Ø (mm) | sep (cm) | Cant filas |
|---|--------|----------|------------|
| Pos | 25 | 15,44 | 1 |
| Pos | 25 | 15,44 | 2 |

Armadura adoptada **As,adopt =** **95,38** cm²/m



| PARÁMETROS DE LA CURVA S-N | | | | | | |
|-------------------------------|-------|-------|--------|-----|-----|--------|
| Para barras rectas y dobladas | | | | | | |
| N* | k1 | k2 | Ø [mm] | 16 | 40 | 25 |
| 1000000 | -5 | -9 | ΔσRsk | 210 | 160 | 191,25 |
| | -0,20 | -0,11 | ΔσRsd | | | 166,30 |

| a | c | b = 2 c | H |
|------|------|---------|------|
| [m] | [m] | [m] | [m] |
| 0,43 | 0,64 | 1,28 | 2,95 |

CASE I – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 4,40E-09 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 4,40E-09 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 4,40E-09 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 4,40E-09 |

CASE II – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 6,07E-09 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 6,07E-09 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 6,07E-09 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 6,07E-09 |

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, el acero debajo de la brida superior se encuentra en buenas condiciones.

6.5.5. ACERO POR ENCIMA DE LA BRIDA INFERIOR

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 30 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 14,96 MPa |
| fcd = | 20 MPa |

Hormigón

| | |
|--------------|-----------|
| fck = | 30 MPa |
| γ_f = | 1,1 |
| γ_c = | 1,5 |
| γ_s = | 1,15 |
| fcd,fat = | 14,96 MPa |
| fcd = | 20 MPa |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 0,95 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 66,60 MN |
| Radio Anillo | 2,065 m |
| Esp Anillo | 0,73 m |

Parámetros de la ecuación

| | |
|-------------------|----------|
| Factor pretensado | 1,05 |
| Pretensado | 70,11 MN |
| Fuerza Pretensado | 73,61 MN |
| Radio Anillo | 2,065 m |
| Esp Anillo | 0,73 m |

| | \emptyset (mm) | sep (cm) | Cant filas |
|--------------------------|-------------------|----------|-------------------------------|
| Pos | 20 | 15,44 | 1 |
| Pos | 20 | 15,44 | 1 |
| Armadura adoptada | As,adopt = | | 40,69 cm²/m |

CASE I – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 1,32E-23 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,32E-23 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 1,32E-23 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 1,32E-23 |

CASE II – MARKOV

| DESCRIPCIÓN | | D |
|----------------------------------|--|----------|
| Factor de pretensado 0,95 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 4,05E-22 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 3,20E-22 |
| Factor de pretensado 1,05 | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÁXIMAS | 4,05E-22 |
| | INDICE DE DAÑOS POR VARIACIÓN DE TENSIONES MÍNIMAS | 3,20E-22 |

Se observa que, para los dos casos de carga, los índices de daños son menores que 1. Por lo tanto, el acero por encima de la brida inferior se encuentra en buenas condiciones.

“Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore
con Torres Metálicas”

ANEXO I

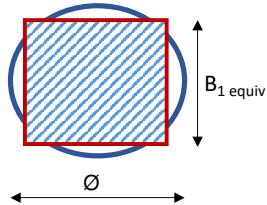
CÁLCULO DE COEFICIENTES DE BALASTO

CÁLCULO DE COEFICIENTE DE BALASTO

El coeficiente de balasto informado corresponde a una placa de 30 cm de lado. El mismo debe convertirse para poder utilizarse en una base de diámetro apropiado

Coeficiente de balasto informado en estudio de suelos: $K_{30} = 24,00 \text{ kg/cm}^3$

SITUACIÓN 1 : Sin despegue de la zapata



Aplicable a:

- Diámetro cimentación aerogenerador
- Superficie del aerogenerador
- Lado de base cuadrada equivalente

Cargas de Operación

- $\varnothing = 2200 \text{ cm}$
- $A = 380,13 \text{ m}^2$
- $B_{1 \text{ equiv}} = 1949,70 \text{ cm}$

Como el suelo es granular, la ecuación de conversión del módulo es la siguiente:

$$K_{CUAD B1} = K_{30} \cdot \left[\frac{B + 30}{2 \cdot B} \right]^n$$

De esta manera se transforma en coeficiente de balasto K_{30} de una placa cuadrada de 30 cm de lado ,en un coeficiente de balasto equivalente a una base cuadrada de lado $B_{1 \text{ equiv}}$

B: Lado cuadrado [cm]

El valor de exponente varía entre $2 < n < 3$, se adopta $n =$

$n = 2,5$

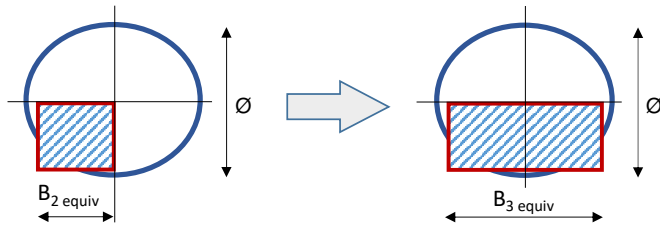
Coeficiente de balasto aplicable a la base cuadrada / cimentación circular de

$380,13 \text{ m}^2 \quad K_{CUAD B1} = 4,41 \text{ kg/cm}^3$

Este coeficiente de balasto es aplicable en los modelos de cimentación para cargas de Operación, donde no existe despegue.

SITUACIÓN 2 : Con despegue de la zapata

Para cargas extremas, dado que es posible el despegue, se calcula el coeficiente de balasto para media cimentación (semicírculo). Para esto debe calcularse el coeficiente de balasto para un cuadrado equivalente a 1/4 de círculo a convertir:



Aplicable a:

Cargas Extremas

Área de 1/4 mitad de la fundación

$A_{1/4} = 95$

Lado de la base cuadrada equivalente

$B_{2 \text{ equiv}} = 974,85 \text{ cm}$

El valor de exponente varía entre $2 < n < 3$, se adopta $n =$

$n = 2,5$

Coeficiente de balasto aplicable a la base cuadrada / cimentación circular de

$9,75 \text{ m} \quad K_{CUAD B2} = 4,58 \text{ kg/cm}^3$

Habiendo obtenido el módulo de balasto para una cimentación cuadrada de lado $B_{2 \text{ EQUIV}}$, se obtiene un **K rectang** de una cimentación rectangular de área equivalente al semicírculo donde apoya la cimentación bajo las cargas extremas de la siguiente manera:

$$K_{RECTANG} = K_{CUAD B2} \cdot \left[\frac{L + 0,5B}{1,5 \cdot L} \right]$$

Área semicírculo

$A_{1/2} = 190 \text{ m}^2$

Largo

$L = B_{1 \text{ equiv}} = 1950 \text{ cm}$

Ancho equivalente

$B = B_{2 \text{ equiv}} = 975 \text{ cm}$

Coeficiente de balasto para semicírculo de 22m de diámetro (área cargada bajo cargas extremas)

$K_{RECTANG} = 3,81 \text{ kg/cm}^3$

RESULTADO

Para el modelo de elementos finitos, se adopta un coeficiente de balasto igual a

$K = 3,8139 \text{ kg/cm}^3$

COMPARATIVA DE COEFICIENTES DE BALASTOS

| WTG | NTN | NF | PROF. DESDE NTN | SUELO CON FUND. POSICIONADA S/ SONDEOS | RQD | PROF. ENSAYO PLACA | SUELO EN ENSAYO DE PLACA | ENSAYO PLACA DE CARGA | | |
|-----|--------|--------|-----------------|--|-------|--------------------|---------------------------------------|--|----------------------------|---------------------------|
| | | | | | | | | K ₃₀ [kg/cm ²] | K [kg/cm ²] | K [kN/m ²] |
| 1 | 314,07 | 311,25 | 2,82 | ROCA POCO ALTERADA | 75 | 0,5 | ROCA | 25,544 | 4,06 | 40592,38 |
| 2 | 351,29 | 346,49 | 4,80 | ROCA GRANITICA ROJIZA FRACTURADA | 45 | 0,65 | ROCA ALTERADA | 37,176 | 5,91 | 59075,76 |
| 3 | 304,32 | 301,30 | 3,02 | ROCA MUY ALTERADA Y DEGRADADA | <25 | 0,7 | ROCA ALTERADA | 38,362 | 6,10 | 60961,35 |
| 4 | 303,10 | 300,80 | 2,30 | ROCA GRANITICA MUY ALTERADA | <25 | 0,8 | ROCA ALTERADA | 26,984 | 4,29 | 42880,04 |
| 5 | 326,17 | 321,70 | 4,47 | ROCA GRANITICA ROJIZA MUY FRAGMENTADA | <25 | 0,2 | ROCA ALTERADA | 36,417 | 5,79 | 57871,15 |
| 6 | 342,31 | 339,20 | 3,11 | ROCA GRANITICA ALTERADA | 45 | 0,45 | ROCA ALTERADA | 61,424 | 9,76 | 97609,13 |
| 7 | 351,69 | 349,60 | 2,09 | ROCA MUY ALTERADA Y DEGRADADA | <25 | 0,9 | ROCA ALTERADA | 23,108 | 3,67 | 36721,64 |
| 8 | 331,02 | 328,20 | 2,82 | ROCA GRANITICA ROJIZA MUY ALTERADA | <25 | 0,9 | ROCA ALTERADA | 30,820 | 4,90 | 48976,83 |
| 9 | 324,25 | 321,59 | 2,66 | ROCA GRANITICA DURA | 55-85 | 0,7 | ROCA ALTERADA | 24,259 | 3,86 | 38550,15 |
| 10 | 286,13 | 284,18 | 1,95 | ROCA GRANITICA MUY ALTERADA | <25 | 1,95 | ROCA GRANITICA MUY ALTERADA - S/ EN | 25,691 | 3,94 | 39359,00 |
| 11 | 301,95 | 298,37 | 3,58 | GRANITO GRISÁCEO DURO | 90-95 | 0,5 | CALCÁREO CON GRAVAS | 27,345 | 4,35 | 43453,62 |
| 12 | 304,51 | 301,60 | 2,91 | GRANITO ROJIZO DURO | 100 | 0,5 | ROCA ALTERADA | 26,970 | 4,29 | 42857,56 |
| 13 | 287,23 | 283,87 | 3,36 | ROCA MUY ALTERADA Y DEGRADADA | <25 | 3,36 | ROCA MUY ALTERADA Y DEGRADADA - S/ EN | 56,806 | 5,73 | 57295,43 |

ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

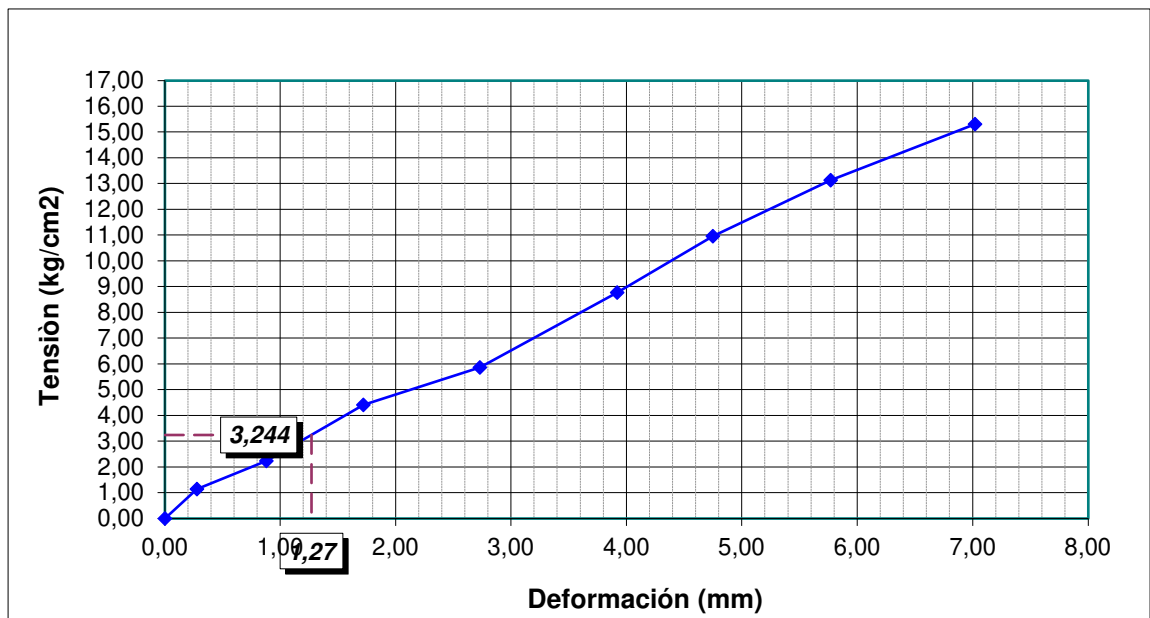
Ensayo: AE 01

Lugar: -

Profundidad: - 0,50 m - Roca

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 28 | 30 | 28 | 0,28 | 1,143 |
| 60 | 88 | 60 | 88 | 0,88 | 2,232 |
| 120 | 172 | 120 | 172 | 1,72 | 4,411 |
| 160 | 273 | 160 | 273 | 2,73 | 5,864 |
| 240 | 392 | 240 | 392 | 3,92 | 8,769 |
| 300 | 475 | 300 | 475 | 4,75 | 10,948 |
| 360 | 577 | 360 | 577 | 5,77 | 13,127 |
| 420 | 702 | 420 | 702 | 7,02 | 15,306 |

Coeficiente de Balasto k : 25,54 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

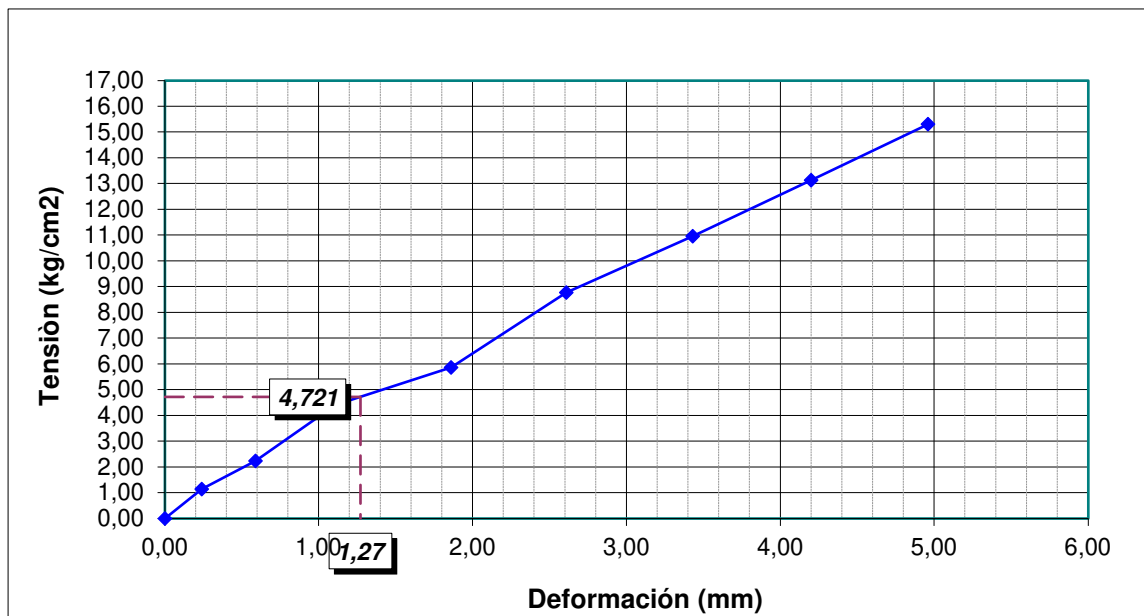
Ensayo: AE 02

Lugar: -

Profundidad: - 0,65m - Roca Alterada

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 24 | 30 | 24 | 0,24 | 1,143 |
| 60 | 59 | 60 | 59 | 0,59 | 2,232 |
| 120 | 111 | 120 | 111 | 1,11 | 4,411 |
| 160 | 186 | 160 | 186 | 1,86 | 5,864 |
| 240 | 261 | 240 | 261 | 2,61 | 8,769 |
| 300 | 343 | 300 | 343 | 3,43 | 10,948 |
| 360 | 420 | 360 | 420 | 4,20 | 13,127 |
| 420 | 496 | 420 | 496 | 4,96 | 15,306 |

Coeficiente de Balasto k : 37,18 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

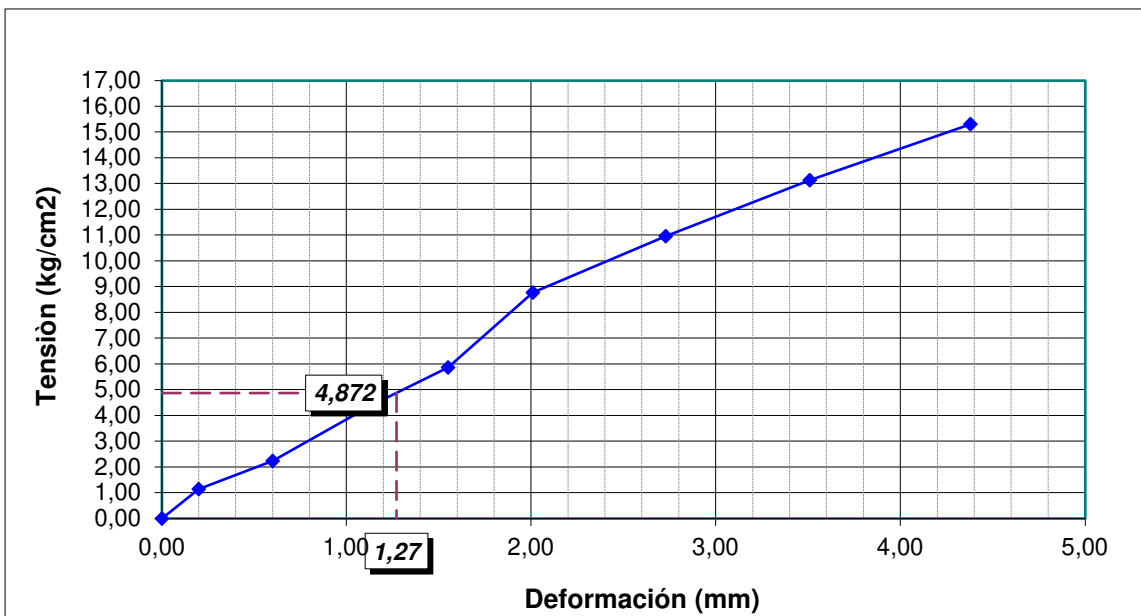
Ensayo: AE 03

Lugar: -

Profundidad: - 0,70 m - Roca Alterada

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 20 | 30 | 20 | 0,20 | 1,143 |
| 60 | 60 | 60 | 60 | 0,60 | 2,232 |
| 120 | 114 | 120 | 114 | 1,14 | 4,411 |
| 160 | 155 | 160 | 155 | 1,55 | 5,864 |
| 240 | 201 | 240 | 201 | 2,01 | 8,769 |
| 300 | 273 | 300 | 273 | 2,73 | 10,948 |
| 360 | 351 | 360 | 351 | 3,51 | 13,127 |
| 420 | 438 | 420 | 438 | 4,38 | 15,306 |

Coeficiente de Balasto k : 38,36 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

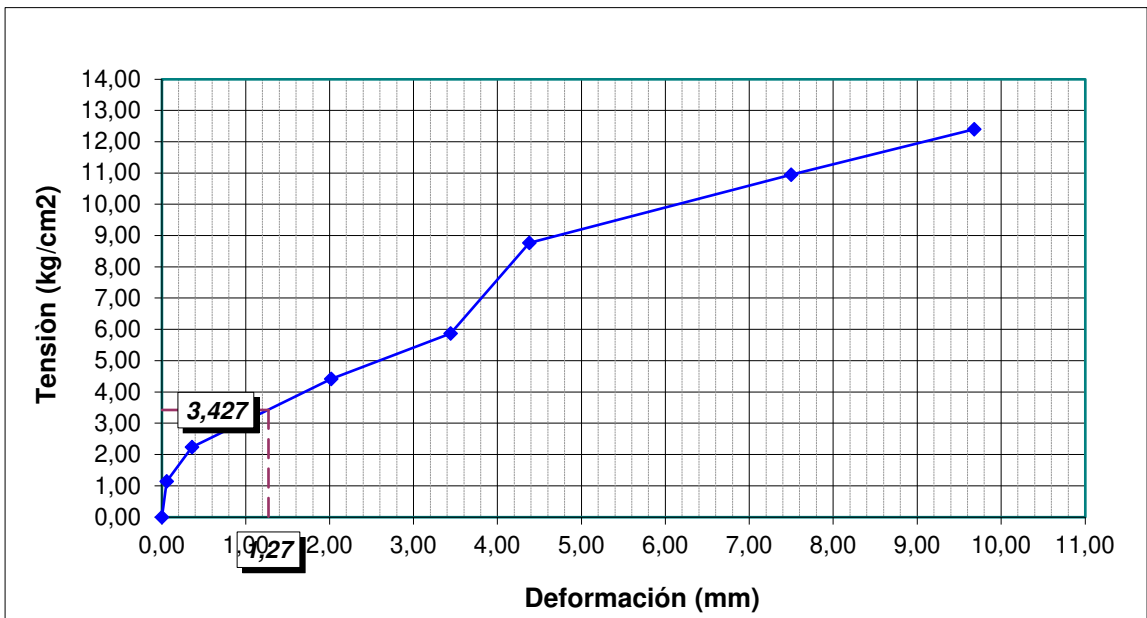
Ensayo: AE 04

Lugar: -

Profundidad: - 0,80 m - Roca Alterada

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 6 | 30 | 6 | 0,06 | 1,143 |
| 60 | 36 | 60 | 36 | 0,36 | 2,232 |
| 120 | 202 | 120 | 202 | 2,02 | 4,411 |
| 160 | 344 | 160 | 344 | 3,44 | 5,864 |
| 240 | 438 | 240 | 438 | 4,38 | 8,769 |
| 300 | 750 | 300 | 750 | 7,50 | 10,948 |
| 340 | 968 | 340 | 968 | 9,68 | 12,401 |

Coeficiente de Balasto k : 26,98 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

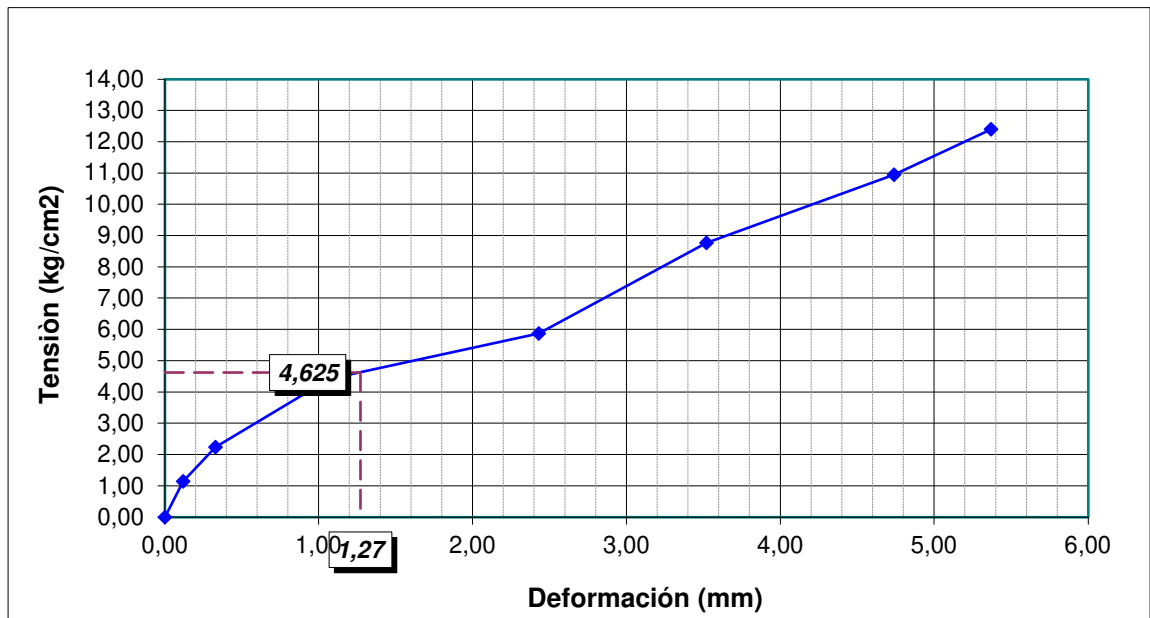
Ensayo: AE 05

Lugar: -

Profundidad: - 0,20 m - Roca Alterada

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 12 | 30 | 12 | 0,12 | 1,143 |
| 60 | 33 | 60 | 33 | 0,33 | 2,232 |
| 120 | 107 | 120 | 107 | 1,07 | 4,411 |
| 160 | 243 | 160 | 243 | 2,43 | 5,864 |
| 240 | 352 | 240 | 352 | 3,52 | 8,769 |
| 300 | 474 | 300 | 474 | 4,74 | 10,948 |
| 340 | 537 | 340 | 537 | 5,37 | 12,401 |

Coeficiente de Balasto k : 36,42 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

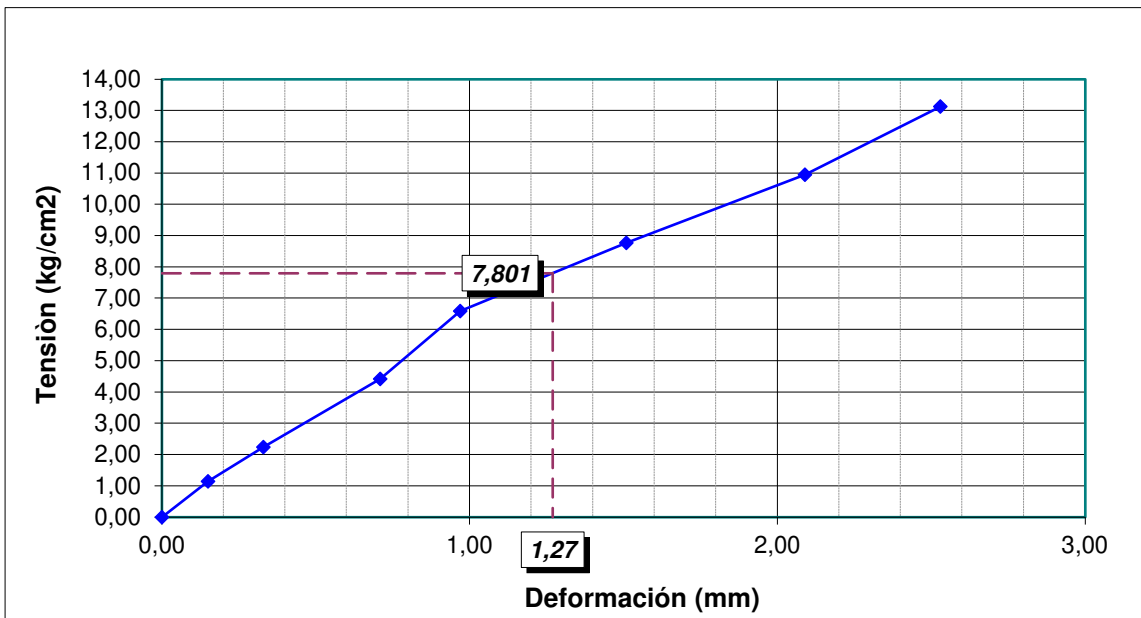
Ensayo: AE 06

Lugar: -

Profundidad: - 0,45 m - Roca Alterada

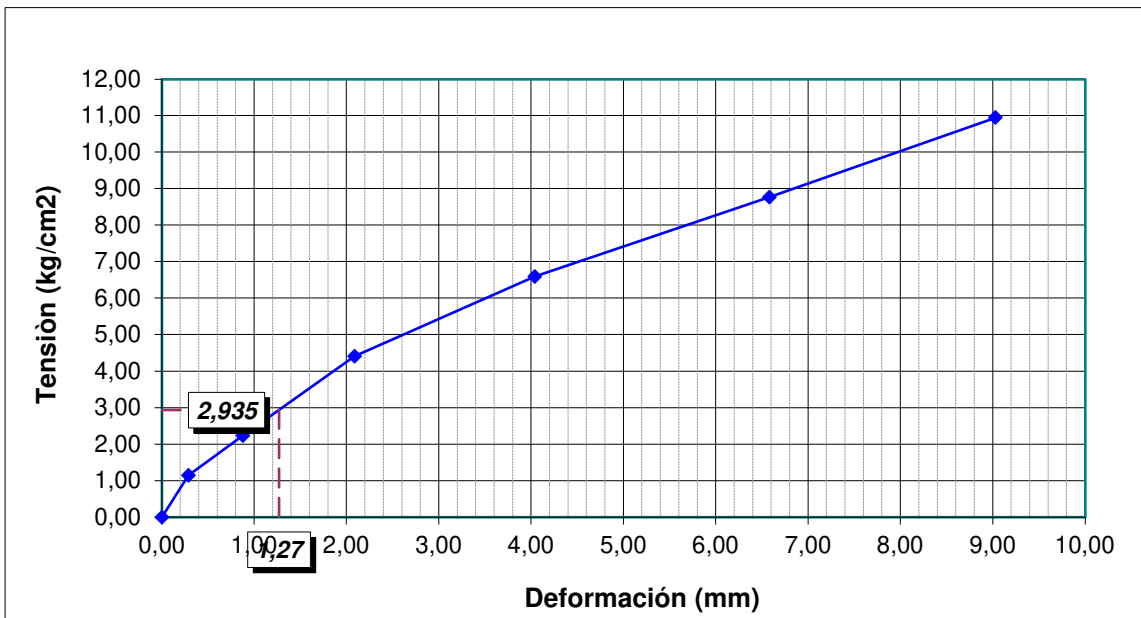
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 15 | 30 | 15 | 0,15 | 1,143 |
| 60 | 33 | 60 | 33 | 0,33 | 2,232 |
| 120 | 71 | 120 | 71 | 0,71 | 4,411 |
| 180 | 97 | 180 | 97 | 0,97 | 6,590 |
| 240 | 151 | 240 | 151 | 1,51 | 8,769 |
| 300 | 209 | 300 | 209 | 2,09 | 10,948 |
| 360 | 253 | 360 | 253 | 2,53 | 13,127 |

Coeficiente de Balasto k : 61,42 kg/cm³



| ENSAYO DE CARGA VERTICAL | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Obra: Aerogeneradores | | | Ensayo: AE 07 | | |
| Lugar: - | | | | | |
| Profundidad: - 0,90 m - Roca Alterada | | | | | |
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 29 | 30 | 29 | 0,29 | 1,143 |
| 60 | 88 | 60 | 88 | 0,88 | 2,232 |
| 120 | 209 | 120 | 209 | 2,09 | 4,411 |
| 180 | 404 | 180 | 404 | 4,04 | 6,590 |
| 240 | 658 | 240 | 658 | 6,58 | 8,769 |
| 300 | 903 | 300 | 903 | 9,03 | 10,948 |

Coeficiente de Balasto k : 23,11 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

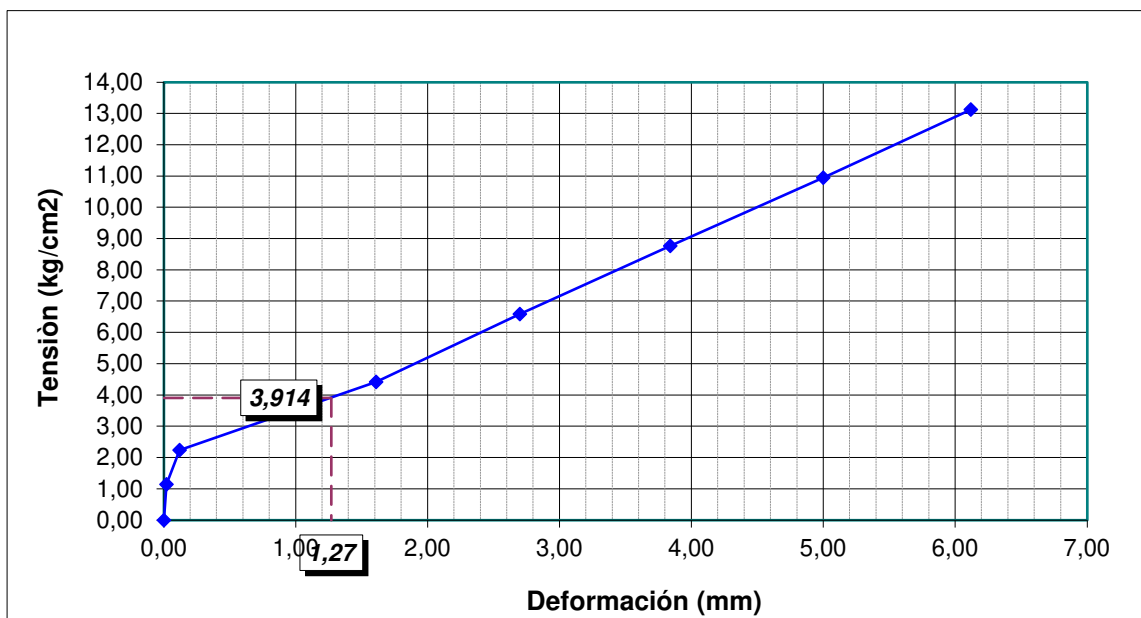
Ensayo: AE 08

Lugar: -

Profundidad: - 0,90 m - Roca Alterada

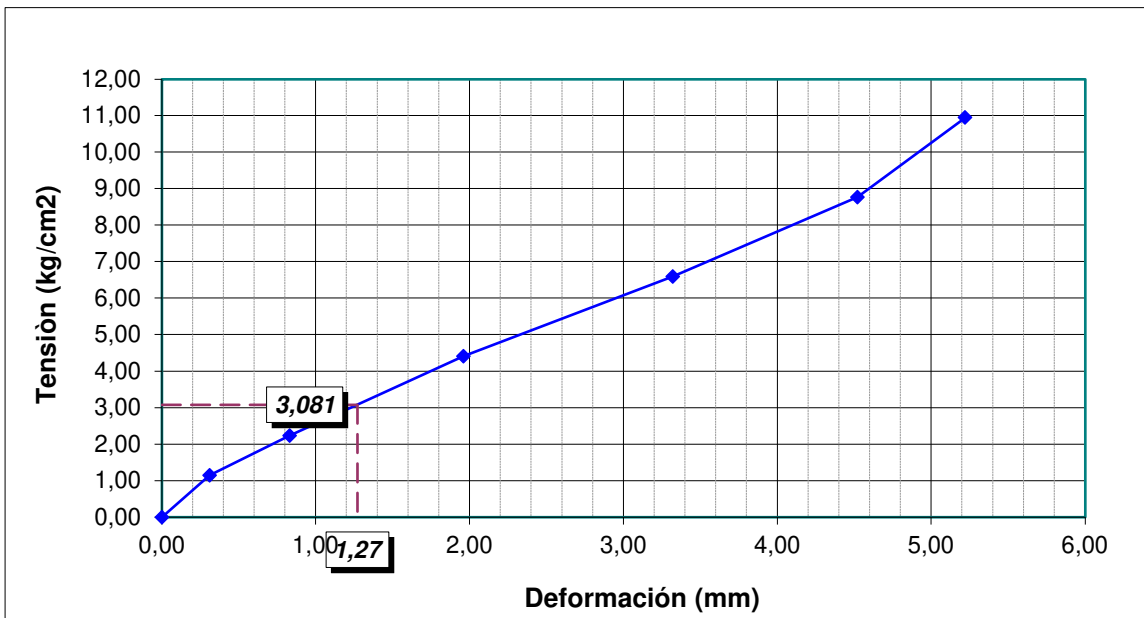
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 2 | 30 | 2 | 0,02 | 1,143 |
| 60 | 12 | 60 | 12 | 0,12 | 2,232 |
| 120 | 161 | 120 | 161 | 1,61 | 4,411 |
| 180 | 270 | 180 | 270 | 2,70 | 6,590 |
| 240 | 384 | 240 | 384 | 3,84 | 8,769 |
| 300 | 500 | 300 | 500 | 5,00 | 10,948 |
| 360 | 612 | 360 | 612 | 6,12 | 13,127 |

Coeficiente de Balasto k : 30,82 kg/cm³



| ENSAYO DE CARGA VERTICAL | | | | | |
|---------------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Obra: Aerogeneradores | | | Ensayo: AE 09 | | |
| Lugar: - | | | | | |
| Profundidad: - 0,70 m - Roca Alterada | | | | | |
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 31 | 30 | 31 | 0,31 | 1,143 |
| 60 | 83 | 60 | 83 | 0,83 | 2,232 |
| 120 | 196 | 120 | 196 | 1,96 | 4,411 |
| 180 | 332 | 180 | 332 | 3,32 | 6,590 |
| 240 | 452 | 240 | 452 | 4,52 | 8,769 |
| 300 | 522 | 300 | 522 | 5,22 | 10,948 |

Coeficiente de Balasto k : 24,26 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

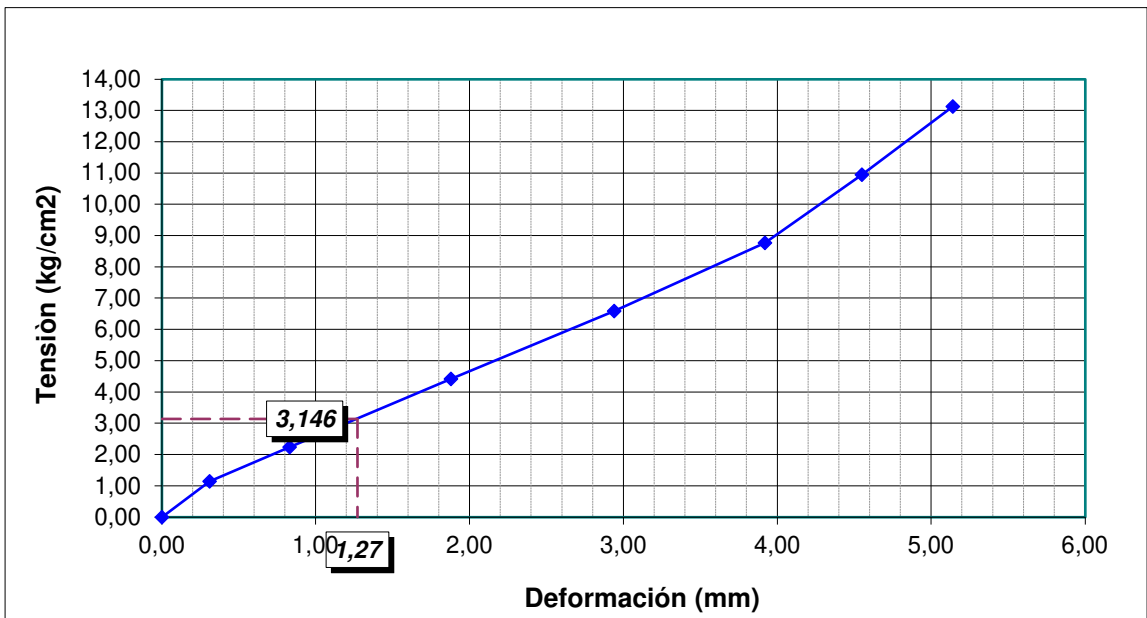
Ensayo: AE 10

Lugar: -

Profundidad: - 1,20 m - Roca Alterada

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 31 | 30 | 31 | 0,31 | 1,143 |
| 60 | 83 | 60 | 83 | 0,83 | 2,232 |
| 120 | 188 | 120 | 188 | 1,88 | 4,411 |
| 180 | 294 | 180 | 294 | 2,94 | 6,590 |
| 240 | 392 | 240 | 392 | 3,92 | 8,769 |
| 300 | 455 | 300 | 455 | 4,55 | 10,948 |
| 360 | 514 | 360 | 514 | 5,14 | 13,127 |

Coeficiente de Balasto k : 24,77 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

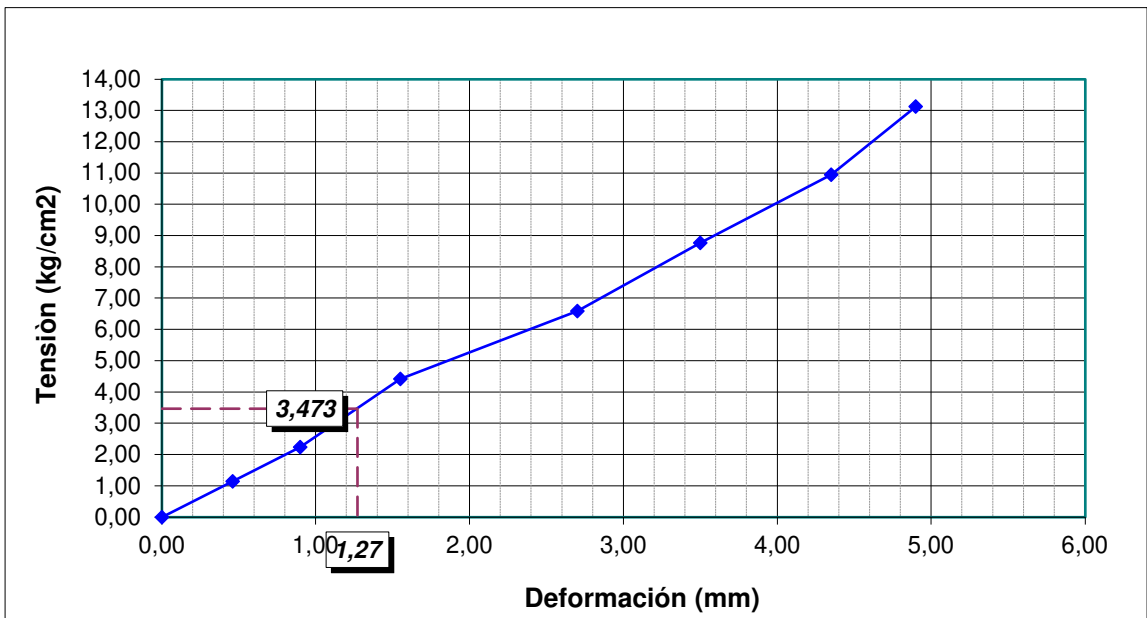
Ensayo: AE 11

Lugar: -

Profundidad: - 0,50 m - Calcáreo c/gravas

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 46 | 30 | 46 | 0,46 | 1,143 |
| 60 | 90 | 60 | 90 | 0,90 | 2,232 |
| 120 | 155 | 120 | 155 | 1,55 | 4,411 |
| 180 | 270 | 180 | 270 | 2,70 | 6,590 |
| 240 | 350 | 240 | 350 | 3,50 | 8,769 |
| 300 | 435 | 300 | 435 | 4,35 | 10,948 |
| 360 | 490 | 360 | 490 | 4,90 | 13,127 |

Coeficiente de Balasto k : 27,34 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

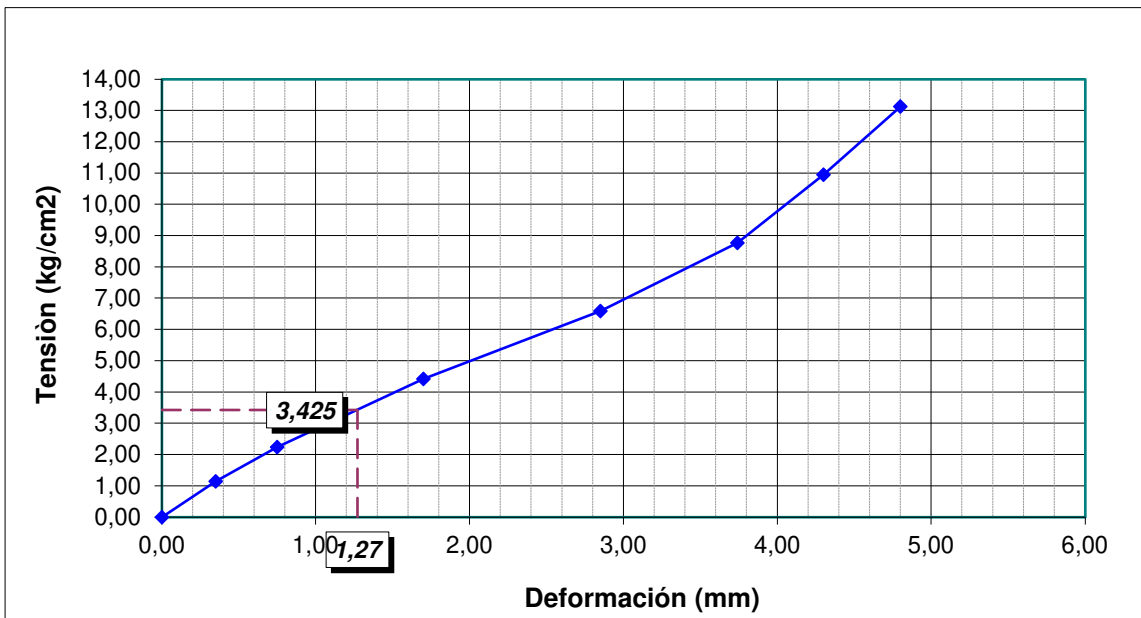
Ensayo: AE 12

Lugar: -

Profundidad: - 0,50 m - Roca Alterada

| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 35 | 30 | 35 | 0,35 | 1,143 |
| 60 | 75 | 60 | 75 | 0,75 | 2,232 |
| 120 | 170 | 120 | 170 | 1,70 | 4,411 |
| 180 | 285 | 180 | 285 | 2,85 | 6,590 |
| 240 | 374 | 240 | 374 | 3,74 | 8,769 |
| 300 | 430 | 300 | 430 | 4,30 | 10,948 |
| 360 | 480 | 360 | 480 | 4,80 | 13,127 |

Coeficiente de Balasto k : 26,97 kg/cm³



ENSAYO DE CARGA VERTICAL

Obra: Aerogeneradores

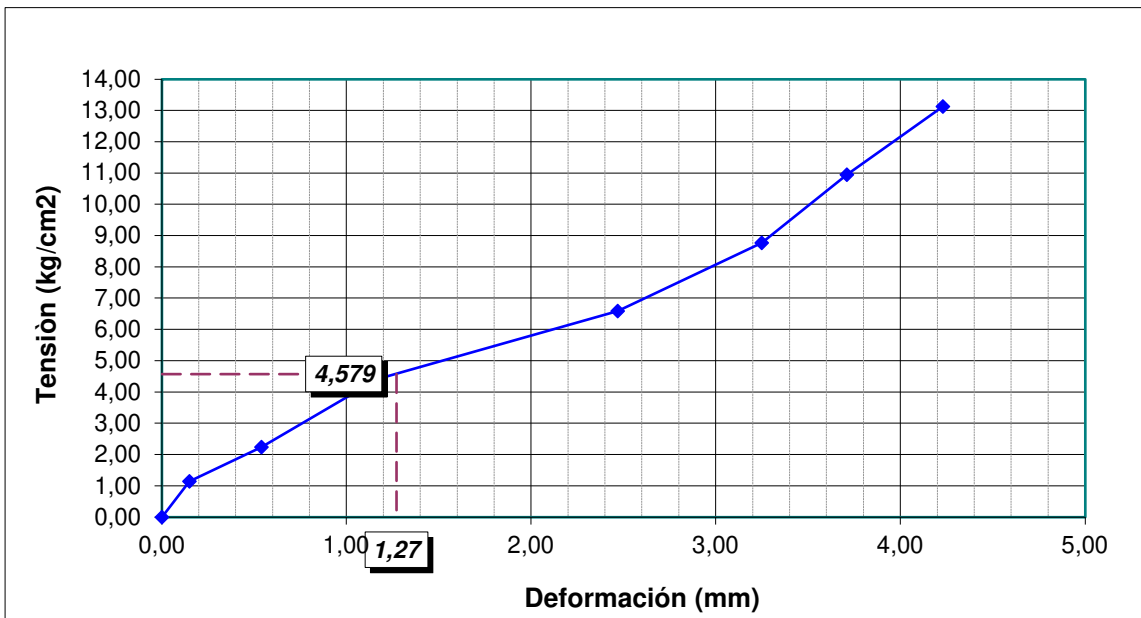
Ensayo: AE 13

Lugar: -

Profundidad: - 0,90 m - Roca Alterada

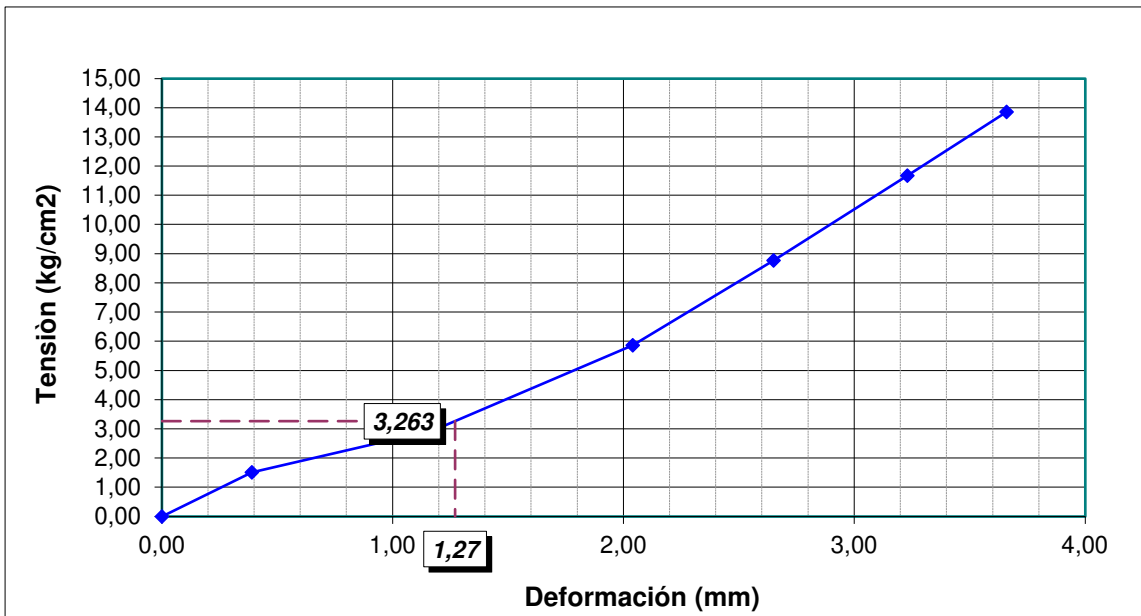
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
|--------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0,00 | 0,000 |
| 30 | 15 | 30 | 15 | 0,15 | 1,143 |
| 60 | 54 | 60 | 54 | 0,54 | 2,232 |
| 120 | 117 | 120 | 117 | 1,17 | 4,411 |
| 180 | 247 | 180 | 247 | 2,47 | 6,590 |
| 240 | 325 | 240 | 325 | 3,25 | 8,769 |
| 300 | 371 | 300 | 371 | 3,71 | 10,948 |
| 360 | 423 | 360 | 423 | 4,23 | 13,127 |

Coeficiente de Balasto k : 36,06 kg/cm³



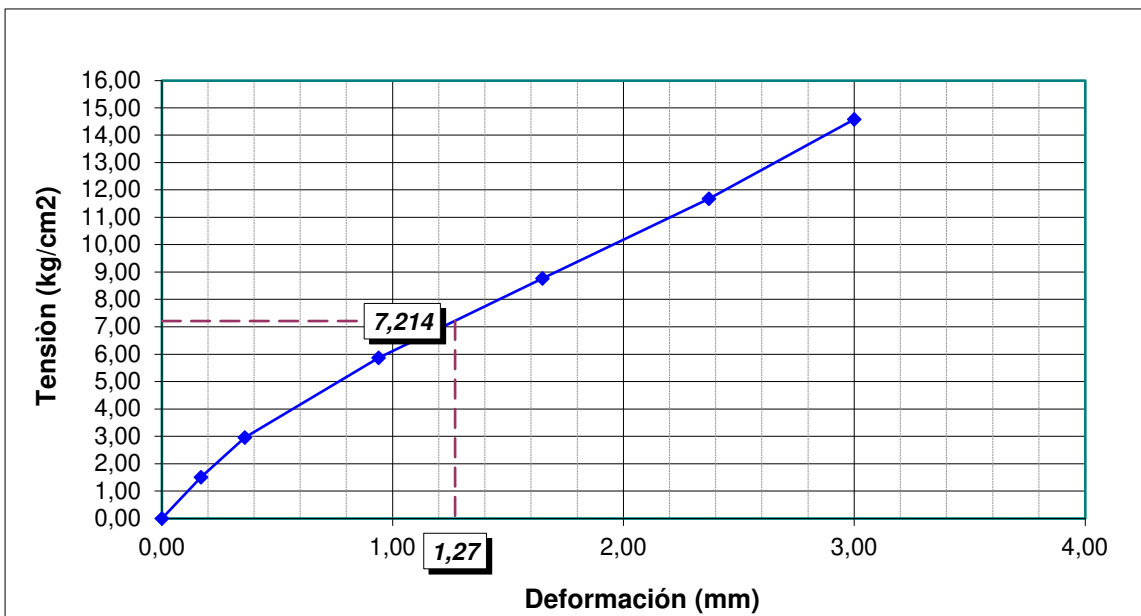
| ENSAYO DE CARGA VERTICAL | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Obra: Aerogeneradores | | | Ensayo: AE 10 | | |
| Lugar: - | | | | | |
| Profundidad: Nivel de fundación | | | | | |
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
| 0 | | | | 0,00 | 0,000 |
| 40 | | | | 0,39 | 1,506 |
| 80 | | | | 1,18 | 2,959 |
| 160 | | | | 2,04 | 5,864 |
| 240 | | | | 2,65 | 8,769 |
| 320 | | | | 3,23 | 11,675 |
| 380 | | | | 3,66 | 13,853 |
| | | | | | |
| | | | | | |

Coeficiente de Balasto k : 25,69 kg/cm³



| ENSAYO DE CARGA VERTICAL | | | | | |
|---------------------------------|--------------------|-----------------------------|------------------------------|------------------|-------------------------------|
| Obra: Aerogeneradores | | | Ensayo: AE 13 | | |
| Lugar: - | | | | | |
| Profundidad: Nivel de fundación | | | | | |
| Lectura Manómetro Gato A | Lectura Flexímetro | Lectura Manómetro corregida | Lectura Flexímetro corregida | Deformación [mm] | Presión [kg/cm ²] |
| 0 | | | | 0,00 | 0,000 |
| 40 | | | | 0,17 | 1,506 |
| 80 | | | | 0,36 | 2,959 |
| 160 | | | | 0,94 | 5,864 |
| 240 | | | | 1,65 | 8,769 |
| 320 | | | | 2,37 | 11,675 |
| 400 | | | | 3,00 | 14,580 |
| | | | | | |
| | | | | | |

Coeficiente de Balasto k : 56,81 kg/cm³



“Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore
con Torres Metálicas”

ANEXO II

CÁLCULO DE MÓDULOS ESTÁTICOS EQUIVALENTES

Bequiv

19,5 m

| POSICIÓN | h0 [m] | Eo [MPa] | Ed [MPa] | Ee [MPa] | Go [MPa] | Gd [MPa] | Ge [MPa] | v |
|----------|-----------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------|
| WTG 01 | 2,943 | 22139,38 | 6641,81 | 2213,94 | 9273,62 | 2782,09 | 927,36 | 0,19 |
| WTG 02 | 4,90 | 20017,89 | 6005,37 | 2001,79 | 7824,32 | 2347,29 | 782,43 | 0,28 |
| WTG 03 | 3,15 | 13307,00 | 3992,10 | 1330,70 | 5214,88 | 1564,46 | 521,49 | 0,28 |
| WTG 04 | 2,40 | 10804,98 | 3241,49 | 1080,50 | 4239,10 | 1271,73 | 423,91 | 0,27 |
| WTG 05 | 4,572 | 8253,10 | 2475,93 | 825,31 | 3571,25 | 1071,37 | 357,12 | 0,16 |
| WTG 06 | 3,25 | 22163,78 | 6649,13 | 2216,38 | 8761,30 | 2628,39 | 876,13 | 0,26 |
| WTG 07 | 2,22 | 9968,18 | 2990,45 | 996,82 | 4077,38 | 1223,21 | 407,74 | 0,22 |
| WTG 08 | 2,90 | 19906,63 | 5971,99 | 1990,66 | 7554,81 | 2266,44 | 755,48 | 0,32 |
| WTG 09 | 2,75 | 6816,94 | 2045,08 | 681,69 | 2473,25 | 741,98 | 247,33 | 0,38 |
| WTG 10 | 2,05 | 3278,48 | 983,54 | 327,85 | 1233,93 | 370,18 | 123,39 | 0,33 |
| WTG 11 | 3,87 | 10350,48 | 3105,14 | 1035,05 | 4150,41 | 1245,12 | 415,04 | 0,25 |
| WTG 12 | 3,25 | 14051,47 | 4215,44 | 1405,15 | 5397,37 | 1619,21 | 539,74 | 0,30 |
| WTG 13 | 3,4 | 4181,48 | 1254,44 | 418,15 | 1648,27 | 494,48 | 164,83 | 0,27 |

Mínimo

WTG XX

327,85

POSICIÓN WTG01

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 3 | 3 | 2650 | 1722 | 1,54 | 0,13 | 1,90 | 5634 | 12784 |
| 3 | 7,5 | 4,5 | 2500 | 1623 | 1,54 | 0,14 | 2,10 | 5532 | 12565 |
| 7,5 | 13,5 | 6 | 2600 | 1571 | 1,65 | 0,21 | 2,25 | 5553 | 13466 |
| 13,5 | 21 | 7,5 | 3800 | 2162 | 1,76 | 0,26 | 2,45 | 11452 | 28874 |
| 21 | 30 | 9 | 5200 | 3285 | 1,58 | 0,17 | 2,70 | 29136 | 68059 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_0 = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_0 = E_0 / [2 \cdot (1+\nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 2,943$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-------------------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ | |
| 2,94 | | | | | | | | | | | |
| 3,00 | 0,057 | 0,0285 | 29,25 | 1,57 | 1,00 | 12784 | 0,06 | 0,000004 | 5634 | 0,00001 | |
| 7,50 | 4,5 | 2,307 | 29,25 | 1,49 | 1,00 | 12565 | 4,50 | 0,000358 | 5532 | 0,00081 | |
| 13,50 | 6 | 7,557 | 29,25 | 1,32 | 0,98 | 13466 | 5,91 | 0,000439 | 5553 | 0,00106 | |
| 21,00 | 7,5 | 14,307 | 29,25 | 1,12 | 0,92 | 28874 | 6,86 | 0,000238 | 11452 | 0,00060 | |
| 32,19 | 11,19 | 23,65 | 29,25 | 0,89 | 0,75 | 68059 | 8,41 | 0,000124 | 29136 | 0,00029 | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | | Eo (equiv) = 22139 | | Go (equiv) = 9274 | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Distorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | | | (*) x | 0,30 | | Ed (equiv) = 6642 | Gd (equiv) = 2782 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | | | (*) x | 0,10 | | Ee (equiv) = 2214 | Ge (equiv) = 927 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG02

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 3,3 | 3,3 | 1700 | 1123 | 1,51 | 0,11 | 1,90 | 2396 | 5333 |
| 3,3 | 8,2 | 4,9 | 1900 | 1137 | 1,67 | 0,22 | 2,10 | 2715 | 6630 |
| 8,2 | 14,8 | 6,6 | 3400 | 1615 | 2,11 | 0,35 | 2,25 | 5869 | 15896 |
| 14,8 | 23,1 | 8,3 | 4200 | 2330 | 1,80 | 0,28 | 2,45 | 13301 | 33989 |
| 23,1 | 30 | 6,9 | 5000 | 2811 | 1,78 | 0,27 | 2,70 | 21335 | 54144 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 4,90$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ |
| 3,3 | | | | | | | | | | |
| 4,9 | 1,6 | 0,8 | 29,25 | 1,54 | 1,00 | 6630 | 1,60 | 0,00024 | 2396 | 0,00067 |
| 8,2 | 3,30 | 1,65 | 29,25 | 1,51 | 1,00 | 6630 | 3,30 | 0,00050 | 2715 | 0,00122 |
| 14,8 | 6,6 | 6,6 | 29,25 | 1,35 | 0,99 | 15896 | 6,53 | 0,00041 | 5869 | 0,00111 |
| 23,1 | 8,3 | 14,05 | 29,25 | 1,12 | 0,92 | 33989 | 7,63 | 0,00022 | 13301 | 0,00057 |
| 34,15 | 11,0 | 23,72 | 29,25 | 0,89 | 0,75 | 54144 | 8,28 | 0,00015 | 21335 | 0,00039 |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 20018 | Go (equiv) = | 7824 |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 6005 | Gd (equiv) = | 2347 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 2002 | Ge (equiv) = | 782 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG03

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|-------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 3 | 3 | 1750 | 1150 | 1,52 | 0,120 | 1,90 | 2513 | 5628 |
| 3 | 7,5 | 4,5 | 1750 | 817 | 2,14 | 0,361 | 2,10 | 1402 | 3815 |
| 7,5 | 13,5 | 6 | 2650 | 1725 | 1,54 | 0,132 | 2,25 | 6695 | 15163 |
| 13,5 | 21 | 7,5 | 3500 | 2169 | 1,61 | 0,188 | 2,45 | 11526 | 27392 |
| 21 | 30 | 9 | 4700 | 3007 | 1,56 | 0,154 | 2,70 | 24414 | 56322 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la suponemos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_0 = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_0 = E_0 / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 3,15$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot hi$ | $(\Delta\sigma/Ei) \cdot hi$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/Gi) \cdot hi$ |
| 3 | | | | | | | | | | |
| 3,15 | 0,15 | 0,08 | 29,25 | 1,57 | 1,00 | 3815 | 0,15 | 0,00004 | 2513 | 0,00006 |
| 7,5 | 4,35 | 2,175 | 29,25 | 1,50 | 1,00 | 3815 | 4,35 | 0,00114 | 1402 | 0,00310 |
| 13,5 | 6 | 7,35 | 29,25 | 1,32 | 0,99 | 15163 | 5,91 | 0,00039 | 6695 | 0,00088 |
| 21 | 7,5 | 14,10 | 29,25 | 1,12 | 0,92 | 27392 | 6,89 | 0,00025 | 11526 | 0,00060 |
| 32,40 | 11,40 | 23,55 | 29,25 | 0,89 | 0,75 | 56322 | 8,58 | 0,00015 | 24414 | 0,00035 |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 13307 | Go (equiv) = | 5215 |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Distorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 3992 | Gd (equiv) = | 1564 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 1331 | Ge (equiv) = | 521 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG04

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sísmica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 2,9 | 2,9 | 1100 | 615 | 1,79 | 0,27 | 1,90 | 719 | 1829 |
| 2,9 | 7,2 | 4,3 | 1550 | 887 | 1,75 | 0,26 | 2,10 | 1652 | 4152 |
| 7,2 | 13 | 5,8 | 2850 | 1670 | 1,71 | 0,24 | 2,25 | 6275 | 15544 |
| 13 | 20,3 | 7,3 | 3200 | 1534 | 2,09 | 0,35 | 2,45 | 5765 | 15576 |
| 20,3 | 30 | 9,7 | 5000 | 2807 | 1,78 | 0,27 | 2,70 | 21274 | 54031 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones
Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1+\nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 2,40$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------|------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ | | |
| 2,4 | | | | | | | | | | | | |
| 2,9 | 0,5 | 0,25 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 1829 | 0,50 | 0,0003 | 719 | 0,0007 | | |
| 7,2 | 4,3 | 2,65 | 29,25 | 1,48 | 1,00 | 4152 | 4,30 | 0,0010 | 1652 | 0,0026 | | |
| 13 | 5,8 | 7,7 | 29,25 | 1,31 | 0,98 | 15544 | 5,70 | 0,0004 | 6275 | 0,0009 | | |
| 20,3 | 7,3 | 14,25 | 29,25 | 1,12 | 0,92 | 15576 | 6,69 | 0,0004 | 5765 | 0,0012 | | |
| 29,25 | 8,95 | 22,37 | 29,25 | 0,92 | 0,78 | 54031 | 6,94 | 0,0001 | 21274 | 0,0003 | | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 10805 | Go (equiv) = | 4239 | | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 3241 | Gd (equiv) = | 1272 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 1080 | Ge (equiv) = | 424 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG05

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|--------|-------|--------|----------|----------|-------|------|------------|------------|------------|
| 0 | 3,2 | 3,2 | 1500 | 835 | 1,80 | 0,28 | 1,90 | 1325 | 3379 |
| 3,2 | 8 | 4,8 | 1600 | 771 | 2,08 | 0,35 | 2,10 | 1248 | 3367 |
| 8 | 14,4 | 6,4 | 2400 | 1134 | 2,12 | 0,36 | 2,25 | 2893 | 7849 |
| 14,4 | 22,4 | 8 | 2800 | 1370 | 2,04 | 0,34 | 2,45 | 4598 | 12348 |
| 22,4 | 30 | 7,6 | 4000 | 2182 | 1,83 | 0,29 | 2,70 | 12855 | 33119 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

Profundidad estrato equivalente = r₀ = 29,25 m

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r₀ a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.
 q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.
 Δσ_i: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato
 Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato
 G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1+\nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN h₀ = 4,572

| Fondo de capa [m] | Espesor del estrato [m] | Altura a mitad del estrato [m] | Radio de la fundación [m] | Ángulo α = atan(r ₀ / z) [rad] | Presiones Boussinesq Δσ [MPa] | Módulo Elástico Ei [MPa] | Δσ·hi | (Δσ/Ei)·hi | Módulo de Corte Gi [MPa] | (Δσ/Gi)·hi | | |
|---|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|-------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|--------------------------|------------|--------------------------|------|
| 3,20 | | | | | | | | | | | | |
| 4,57 | 1,372 | 0,686 | 29,25 | 1,55 | 1,00 | 3367 | 1,37 | 0,0004 | 1325 | 0,0010 | | |
| 8,00 | 3,428 | 1,714 | 29,25 | 1,51 | 1,00 | 3367 | 3,43 | 0,0010 | 1248 | 0,0027 | | |
| 14,40 | 6,4 | 6,628 | 29,25 | 1,35 | 0,99 | 7849 | 6,33 | 0,0008 | 2893 | 0,0022 | | |
| 22,40 | 8,00 | 13,828 | 29,25 | 1,13 | 0,92 | 12348 | 7,38 | 0,0006 | 4598 | 0,0016 | | |
| 33,82 | 11,42 | 23,54 | 29,25 | 0,89 | 0,75 | 12348 | 8,60 | 0,0007 | 12855 | 0,0007 | | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | E _o (equiv) = | 8253 | G _o (equiv) = | 3571 | | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10 ⁻³ a 10 ⁻⁴ | | | | | | | (*) x | 0,30 | E _d (equiv) = | 2476 | G _d (equiv) = | 1071 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10 ⁻² a 10 ⁻¹ | | | | | | | (*) x | 0,10 | E _e (equiv) = | 825 | G _e (equiv) = | 357 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN

WTG06

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sísmica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 2,6 | 2,6 | 2500 | 1652 | 1,51 | 0,11 | 1,90 | 5185 | 11537 |
| 2,6 | 6,5 | 3,9 | 2400 | 1525 | 1,57 | 0,16 | 2,10 | 4884 | 11344 |
| 6,5 | 11,7 | 5,2 | 2800 | 1419 | 1,97 | 0,33 | 2,25 | 4531 | 12026 |
| 11,7 | 18,2 | 6,5 | 3700 | 1917 | 1,93 | 0,32 | 2,45 | 9003 | 23707 |
| 18,2 | 30 | 11,8 | 5000 | 3036 | 1,65 | 0,21 | 2,70 | 24887 | 60126 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 3,25$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot hi$ | $(\Delta\sigma/Ei) \cdot hi$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/Gi) \cdot hi$ |
| 2,6 | | | | | | | | | | |
| 3,25 | 0,65 | 0,325 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 11344 | 0,65 | 0,00006 | 5185 | 0,0001 |
| 6,5 | 3,25 | 1,625 | 29,25 | 1,52 | 1,00 | 11344 | 3,25 | 0,00029 | 4884 | 0,0007 |
| 11,7 | 5,2 | 5,85 | 29,25 | 1,37 | 0,99 | 12026 | 5,16 | 0,00043 | 4531 | 0,0011 |
| 18,2 | 6,5 | 11,70 | 29,25 | 1,19 | 0,95 | 23707 | 6,17 | 0,00026 | 9003 | 0,0007 |
| 32,50 | 14,30 | 22,10 | 29,25 | 0,92 | 0,78 | 60126 | 11,16 | 0,00019 | 24887 | 0,0004 |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 22164 | Go (equiv) = | 8761 |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 6649 | Gd (equiv) = | 2628 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 2216 | Ge (equiv) = | 876 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG07

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 3 | 3 | 1900 | 1238 | 1,53 | 0,13 | 1,90 | 2912 | 6588 |
| 3 | 7,5 | 4,5 | 1500 | 988 | 1,52 | 0,12 | 2,10 | 2050 | 4579 |
| 7,5 | 13,5 | 6 | 2000 | 1006 | 1,99 | 0,33 | 2,25 | 2277 | 6060 |
| 13,5 | 21 | 7,5 | 3000 | 1759 | 1,71 | 0,24 | 2,45 | 7580 | 18770 |
| 21 | 30 | 9 | 4800 | 2782 | 1,73 | 0,25 | 2,70 | 20897 | 52120 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 2,22$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|-----------------|------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ | | |
| 2,22 | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 0,78 | 0,39 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 6588 | 0,78 | 0,0001 | 2912 | 0,0003 | | |
| 7,5 | 4,5 | 3,03 | 29,25 | 1,47 | 1,00 | 4579 | 4,50 | 0,0010 | 2050 | 0,0022 | | |
| 13,5 | 6 | 8,28 | 29,25 | 1,29 | 0,98 | 6060 | 5,88 | 0,0010 | 2277 | 0,0026 | | |
| 21 | 7,5 | 15,03 | 29,25 | 1,10 | 0,90 | 18770 | 6,78 | 0,0004 | 7580 | 0,0009 | | |
| 31,47 | 10,47 | 24,01 | 29,25 | 0,88 | 0,74 | 52120 | 7,79 | 0,0001 | 20897 | 0,0004 | | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | E_o (equiv) = | 9968 | G_o (equiv) = | 4077 | | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | | | (*) x | 0,30 | E_d (equiv) = | 2990 | G_d (equiv) = | 1223 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | | | (*) x | 0,10 | E_e (equiv) = | 997 | G_e (equiv) = | 408 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG08

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sísmica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|-------------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 2,4 | 2,4 | 2700 | 1787 | 1,51 | 0,110244491 | 1,90 | 6067 | 13473 |
| 2,4 | 6 | 3,6 | 2800 | 1332 | 2,10 | 0,353751276 | 2,10 | 3726 | 10088 |
| 6 | 10,8 | 4,8 | 2900 | 1143 | 2,54 | 0,408042541 | 2,25 | 2940 | 8278 |
| 10,8 | 16,8 | 6 | 3700 | 2030 | 1,82 | 0,28467672 | 2,45 | 10096 | 25941 |
| 16,8 | 30 | 13,2 | 5400 | 3565 | 1,51 | 0,113719566 | 2,70 | 34315 | 76434 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1+\nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 2,90$$

| Fondo de capa | Esesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | |
|---------------|--------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ |
| 2,40 | | | | | | | | | | |
| 2,90 | 0,50 | 0,25 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 10088 | 0,50 | 0,00005 | 6067 | 0,00008 |
| 6,00 | 3,10 | 1,55 | 29,25 | 1,52 | 1,00 | 10088 | 3,10 | 0,00031 | 3726 | 0,00083 |
| 10,80 | 4,80 | 5,50 | 29,25 | 1,38 | 0,99 | 8278 | 4,77 | 0,00058 | 2940 | 0,00162 |
| 16,80 | 6,00 | 10,90 | 29,25 | 1,21 | 0,96 | 25941 | 5,74 | 0,00022 | 10096 | 0,00057 |
| 32,15 | 15,35 | 22,07 | 29,25 | 0,92 | 0,78 | 76434 | 11,99 | 0,00016 | 34315 | 0,00035 |

Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones

Módulo elástico equivalente (Operacional) - Distorsión 10^{-3} a 10^{-4}

Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1}

(*) x 0,30

(*) x 0,10

| | | | |
|--------------|-------|--------------|------|
| Eo (equiv) = | 19907 | Go (equiv) = | 7555 |
| Ed (equiv) = | 5972 | Gd (equiv) = | 2266 |
| Ee (equiv) = | 1991 | Ge (equiv) = | 755 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG09

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 2 | 2 | 1200 | 743 | 1,62 | 0,19 | 1,90 | 1049 | 2495 |
| 2 | 5 | 3 | 1300 | 563 | 2,31 | 0,38 | 2,10 | 666 | 1843 |
| 5 | 9 | 4 | 1600 | 691 | 2,32 | 0,39 | 2,25 | 1074 | 2977 |
| 9 | 14 | 5 | 2800 | 1105 | 2,53 | 0,41 | 2,45 | 2992 | 8423 |
| 14 | 30 | 16 | 3500 | 1785 | 1,96 | 0,32 | 2,70 | 8603 | 22784 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 2,75$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | Módulo de Corte | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ |
| 2,00 | | | | | | | | | | |
| 2,75 | 0,75 | 0,375 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 1843 | 0,75 | 0,00041 | 1049 | 0,00072 |
| 5,00 | 2,25 | 1,125 | 29,25 | 1,53 | 1,00 | 1843 | 2,25 | 0,00122 | 666 | 0,00338 |
| 9,00 | 4,00 | 4,25 | 29,25 | 1,43 | 1,00 | 2977 | 3,99 | 0,00134 | 1074 | 0,00371 |
| 14,00 | 5,00 | 8,75 | 29,25 | 1,28 | 0,98 | 8423 | 4,88 | 0,00058 | 2992 | 0,00163 |
| 32,00 | 18,00 | 20,25 | 29,25 | 0,97 | 0,82 | 22784 | 14,68 | 0,00064 | 8603 | 0,00171 |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 6817 | Go (equiv) = | 2473 |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Distorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 2045 | Gd (equiv) = | 742 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 682 | Ge (equiv) = | 247 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG10

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sísmica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|--------|-------|--------|----------|----------|-------|------|--------------------------------|------------|------------|
| 0 | 2,5 | 2,5 | 850 | 554 | 1,53 | 0,13 | 1,90 | 583 | 1319 |
| 2,5 | 6,2 | 3,7 | 750 | 363 | 2,07 | 0,35 | 2,10 | 277 | 745 |
| 6,2 | 11,2 | 5 | 1600 | 807 | 1,98 | 0,33 | 2,25 | 1465 | 3896 |
| 11,2 | 17,5 | 6,3 | 2100 | 1180 | 1,78 | 0,27 | 2,45 | 3411 | 8660 |
| 17,5 | 30 | 12,5 | 3300 | 1572 | 2,10 | 0,35 | 2,70 | 6672 | 18058 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones
Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_0 = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_0 = E_0 / [2 \cdot (1+\nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 2,05$$

| Fondo de capa [m] | Esesor del estrato [m] | Altura a mitad del estrato [m] | Radio de la fundación [m] | Ángulo $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | Presiones Boussinesq $\Delta\sigma$ [MPa] | Módulo Elástico Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Módulo de Corte Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ | | |
|---|------------------------|--------------------------------|---------------------------|--|---|--------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------------------|--------------------------------|--------------|-----|
| 2,05 | | | | | | | | | | | | |
| 2,5 | 0,45 | 0,23 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 1319 | 0,45 | 0,0003 | 583 | 0,0008 | | |
| 6,2 | 3,70 | 2,30 | 29,25 | 1,49 | 1,00 | 745 | 3,70 | 0,0050 | 277 | 0,0134 | | |
| 11,2 | 5,00 | 6,65 | 29,25 | 1,35 | 0,99 | 3896 | 4,95 | 0,0013 | 1465 | 0,0034 | | |
| 17,5 | 6,30 | 12,30 | 29,25 | 1,17 | 0,94 | 8660 | 5,93 | 0,0007 | 3411 | 0,0017 | | |
| 31,30 | 13,80 | 22,35 | 29,25 | 0,92 | 0,78 | 18058 | 10,71 | 0,0006 | 6672 | 0,0016 | | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 3278 | Go (equiv) = | 1234 | | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 984 | Gd (equiv) = | 370 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 328 | Ge (equiv) = | 123 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG11

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sísmica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|--------|-------|--------|----------|----------|-------|------|------------|------------|------------|
| 0 | 3,2 | 3,2 | 2750 | 1507 | 1,82 | 0,29 | 1,90 | 4315 | 11093 |
| 3,2 | 8 | 4,8 | 1209 | 673 | 1,80 | 0,28 | 2,10 | 951 | 2426 |
| 8 | 14,4 | 6,4 | 2850 | 1784 | 1,60 | 0,18 | 2,25 | 7161 | 16869 |
| 14,4 | 22,4 | 8 | 3500 | 2075 | 1,69 | 0,23 | 2,45 | 10549 | 25929 |
| 22,4 | 30 | 7,6 | 4850 | 3211 | 1,51 | 0,11 | 2,70 | 27838 | 61790 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones
Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

Profundidad estrato equivalente = r₀ = 29,25 m

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r₀ a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.
q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.
Δσ_i: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato
Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato
G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN h₀ = 3,87

| Fondo de capa [m] | Espesor del estrato [m] | Altura a mitad del estrato [m] | Radio de la fundación [m] | Ángulo α = atan(r ₀ / z) [rad] | Presiones Boussinesq Δσ [MPa] | Módulo Elástico Ei [MPa] | Δσ·hi | (Δσ/Ei)·hi | Módulo de Corte Gi [MPa] | (Δσ/Gi)·hi |
|-------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------------|---|-------------------------------|--------------------------|-------|------------|--------------------------|------------|
| 3,20 | | | | | | | | | | |
| 3,87 | 0,67 | 0,335 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 2426 | 0,67 | 0,00028 | 4315 | 0,00016 |
| 8,00 | 4,13 | 2,065 | 29,25 | 1,50 | 1,00 | 2426 | 4,13 | 0,00170 | 951 | 0,00434 |
| 14,40 | 6,40 | 7,33 | 29,25 | 1,33 | 0,99 | 16869 | 6,31 | 0,00037 | 7161 | 0,00088 |
| 22,40 | 8,00 | 14,53 | 29,25 | 1,11 | 0,91 | 25929 | 7,30 | 0,00028 | 10549 | 0,00069 |
| 33,12 | 10,72 | 23,89 | 29,25 | 0,89 | 0,75 | 61790 | 8,00 | 0,00013 | 27838 | 0,00029 |

| | | |
|---|--------------------------------|-------------------------------|
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | E _o (equiv) = 10350 | G _o (equiv) = 4150 |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10 ⁻³ a 10 ⁻⁴ | E _d (equiv) = 3105 | G _d (equiv) = 1245 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10 ⁻² a 10 ⁻¹ | E _e (equiv) = 1035 | G _e (equiv) = 415 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG12

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sismica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | v | δ [gr/cm ³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|-----------------------------------|---------------|---------------|
| 0 | 2,5 | 2,5 | 1700 | 880 | 1,93 | 0,32 | 1,90 | 1471 | 3875 |
| 2,5 | 6,3 | 3,8 | 1750 | 891 | 1,96 | 0,33 | 2,10 | 1667 | 4418 |
| 6,3 | 11,3 | 5 | 2500 | 1376 | 1,82 | 0,28 | 2,25 | 4260 | 10929 |
| 11,3 | 17,5 | 6,2 | 2850 | 1560 | 1,83 | 0,29 | 2,45 | 5962 | 15336 |
| 17,5 | 30 | 12,5 | 4400 | 2365 | 1,86 | 0,30 | 2,70 | 15102 | 39170 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas.

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1+\nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 3,25$$

| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------|------|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ | | |
| 2,5 | | | | | | | | | | | | |
| 3,25 | 0,75 | 0,375 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 4418 | 0,75 | 0,00017 | 1471 | 0,00051 | | |
| 6,3 | 3,05 | 1,525 | 29,25 | 1,52 | 1,00 | 4418 | 3,05 | 0,00069 | 1667 | 0,00183 | | |
| 11,3 | 5 | 5,55 | 29,25 | 1,38 | 0,99 | 10929 | 4,97 | 0,00045 | 4260 | 0,00117 | | |
| 17,5 | 6,2 | 11,15 | 29,25 | 1,21 | 0,95 | 15336 | 5,92 | 0,00039 | 5962 | 0,00099 | | |
| 32,50 | 15,0 | 21,75 | 29,25 | 0,93 | 0,79 | 39170 | 11,81 | 0,00030 | 15102 | 0,00078 | | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 14051 | Go (equiv) = | 5397 | | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 4215 | Gd (equiv) = | 1619 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 1405 | Ge (equiv) = | 540 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

POSICIÓN WTG13

Se puede determinar el módulo de deformación elástica a cada profundidad a partir de los resultados obtenidos en el ensayo de sísmica de refracción y MASW

| de [m] | a [m] | hi [m] | Vp [m/s] | Vs [m/s] | Vp/Vs | n | δ [gr/cm³] | Gd i [MPa] | Ed i [MPa] |
|-----------|----------|-----------|-------------|-------------|-------|------|---------------|---------------|---------------|
| 0 | 2,7 | 2,7 | 800 | 484 | 1,65 | 0,21 | 1,90 | 445 | 1078 |
| 2,7 | 6,8 | 4,1 | 750 | 444 | 1,69 | 0,23 | 2,10 | 414 | 1019 |
| 6,8 | 12,1 | 5,3 | 1700 | 1031 | 1,65 | 0,21 | 2,25 | 2392 | 5784 |
| 12,1 | 18,9 | 6,8 | 1900 | 848 | 2,24 | 0,38 | 2,45 | 1762 | 4847 |
| 18,9 | 30 | 11,1 | 3200 | 1590 | 2,01 | 0,34 | 2,70 | 6826 | 18240 |

Realizando un estudio elástico del asentamiento del terreno, se obtiene el módulo elástico equivalente para bajas distorsiones. Del análisis y pos procesamiento del estudio de suelos, se definen los parámetros de caracterización de las diferentes capas

Para el cálculo de los módulos G y E, se considera la influencia de la estratificación. En este aspecto, deberán considerarse dos aspectos principales. En primer lugar hasta qué profundidad deben considerarse las propiedades del suelo, y en segundo lugar de qué manera se obtienen las propiedades del estrato equivalente.

En referencia al primer aspecto, la profundidad en la que las propiedades del suelo tienen influencia sobre la cimentación se considera igual al radio de la fundación. En otros términos, la profundidad del estrato equivalente será igual al radio de la fundación.

$$\text{Profundidad estrato equivalente} = r_0 = 29,25 \text{ m}$$

Por este motivo, el análisis para determinar las propiedades del estrato equivalente son determinadas hasta una profundidad r_0 a partir del fondo de la cimentación. Las mismas se determinarán teniendo en cuenta las profundidades y propiedades de los estratos y las variaciones en profundidad de las presiones verticales debidas a las cargas de la fundación.

Básicamente se establece un método de ponderación basado, en primer lugar en el cálculo de los incrementos de presiones por teoría de Boussinesq en las profundidades medias de cada uno de los estratos. Dichos incrementos se determinan como sigue:

z: Profundidad media al estrato respecto al nivel de fundación.

q: Carga que transmite la fundación al suelo. Para ponderación la supondremos unitaria.

$\Delta\sigma_i$: Variación de presiones según Boussinesq en el i-ésimo estrato.

$$\Delta\sigma_i = \left\{ 1 - \frac{1}{\left[\left(\frac{r_0}{z} \right)^2 + 1 \right]^{3/2}} \right\} \cdot q = q \cdot (1 - \cos \alpha^3) \quad (**)$$

(**) Braja M- Das- Fundamentos de Ingeniería Geotécnica

Luego, mediante la siguiente fórmula se evalúan los módulos de corte del estrato equivalente. Análogamente podrá hacerse para evaluar el módulo de elasticidad E.

hi: Espesor del i-ésimo estrato

Gi: Módulo de corte del i-ésimo estrato

G: Módulo de corte del estrato equivalente

$$E_o = \frac{\sum \Delta\sigma_i \cdot h_i}{\sum \left(\frac{\Delta\sigma_i}{E_i} \right) \cdot h_i} \quad G_o = E_o / [2 \cdot (1 + \nu)]$$

Profundidad de la fundación respecto al TN

$$h_0 = 3,4$$

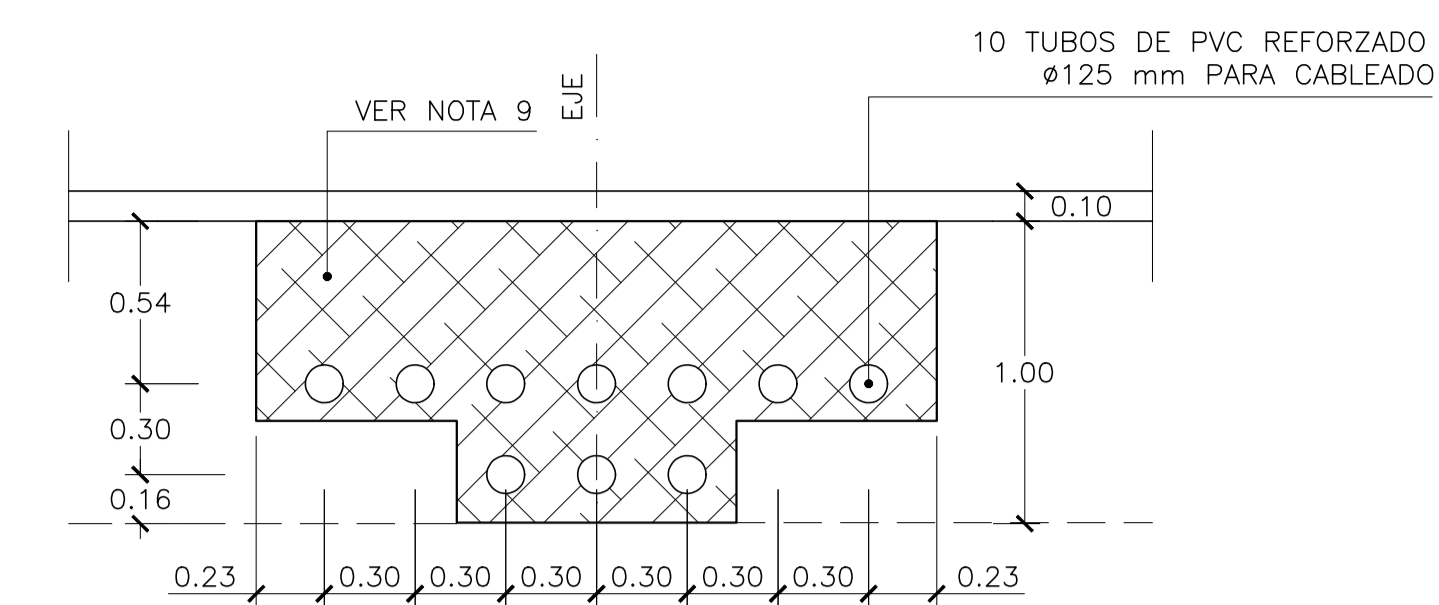
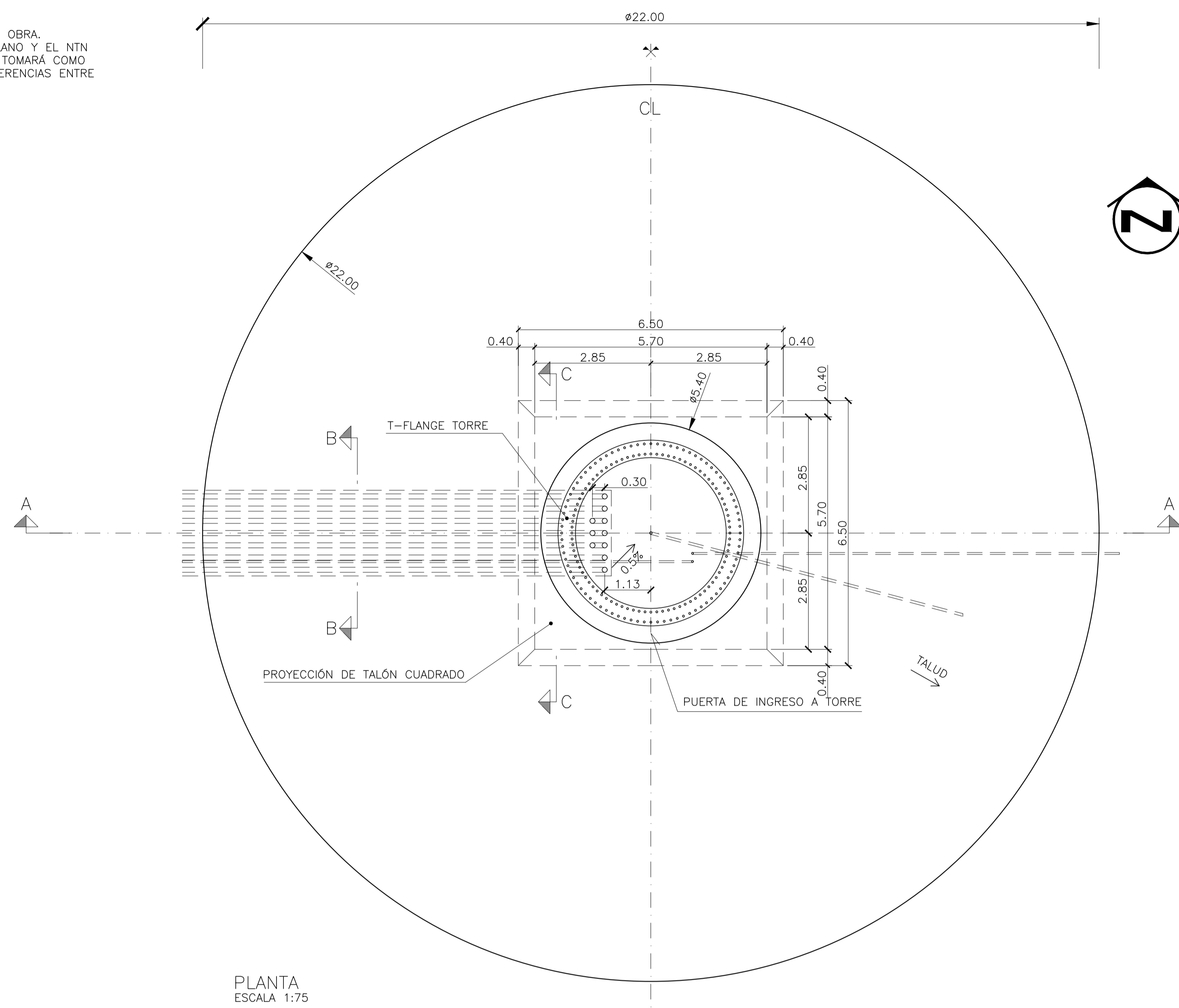
| Fondo de capa | Espesor del estrato | Altura a mitad del estrato | Radio de la fundación | Ángulo | Presiones Boussinesq | Módulo Elástico | | | Módulo de Corte | | | |
|---|---------------------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------------|--------------------------|--------------------------------|-----------------|--------------------------------|--------------|-----|
| [m] | hi [m] | z [m] | r0 [m] | $\alpha = \text{atan}(r_0 / z)$ [rad] | $\Delta\sigma$ [MPa] | Ei [MPa] | $\Delta\sigma \cdot h_i$ | $(\Delta\sigma/E_i) \cdot h_i$ | Gi [MPa] | $(\Delta\sigma/G_i) \cdot h_i$ | | |
| 2,7 | | | | | | | | | | | | |
| 3,4 | 0,7 | 0,35 | 29,25 | 1,56 | 1,00 | 1019 | 0,70 | 0,0007 | 445 | 0,00157 | | |
| 6,8 | 3,4 | 1,7 | 29,25 | 1,51 | 1,00 | 1019 | 3,40 | 0,0033 | 414 | 0,00821 | | |
| 12,1 | 5,3 | 6,05 | 29,25 | 1,37 | 0,99 | 5784 | 5,26 | 0,0009 | 2392 | 0,00220 | | |
| 18,9 | 6,8 | 12,10 | 29,25 | 1,18 | 0,94 | 4847 | 6,42 | 0,0013 | 1762 | 0,00364 | | |
| 32,65 | 13,75 | 22,37 | 29,25 | 0,92 | 0,78 | 18240 | 10,66 | 0,0006 | 6826 | 0,00156 | | |
| Módulo elástico equivalente (Geofísica) - Bajas distorsiones | | | | | | | Eo (equiv) = | 4181 | Go (equiv) = | 1648 | | |
| Módulo elástico equivalente (Operacional) - Dostorsión 10^{-3} a 10^{-4} | | | | | | | (*) x | 0,30 | Ed (equiv) = | 1254 | Gd (equiv) = | 494 |
| Módulo elástico equivalente (Estático) - Altas distorsiones 10^{-2} a 10^{-1} | | | | | | | (*) x | 0,10 | Ee (equiv) = | 418 | Ge (equiv) = | 165 |

(*) según la correlación de la DNV/RisØ

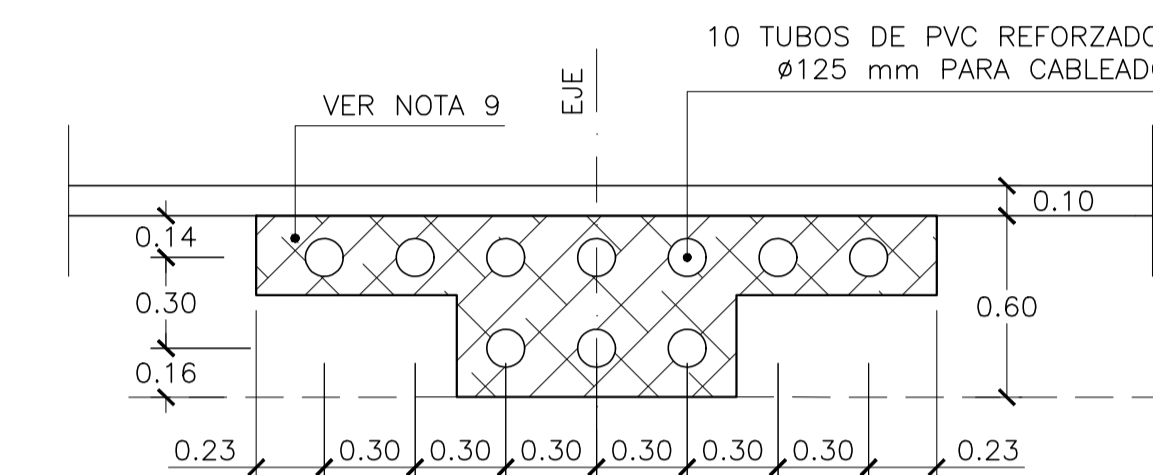
NIVELES A VERIFICAR

LOS SIGUIENTES NIVELES SERÁN VERIFICADOS EN OBRA. SI LAS DIFERENCIAS ENTRE EL NIVEL NTN DE PLANO Y EL NTN VERIFICADO EN OBRA ES MAYOR DE 20 CM, SE TOMARÁ COMO VÁLIDO ESTE ÚLTIMO Y SE RESPETARÁN LAS DIFERENCIAS ENTRE NIVELES DE LA SIGUIENTE TABLA.

| POSICIÓN | NTN [m] | NFE [m] | NFUSTE [m] |
|----------|---------|---------|------------|
| WTG-1 | 314.07 | 311.25 | 314.25 |
| WTG-2 | 351.29 | 346.49 | 349.49 |
| WTG-3 | 304.32 | 301.30 | 304.30 |
| WTG-4 | 303.10 | 300.80 | 303.80 |
| WTG-5 | 326.17 | 321.70 | 324.70 |
| WTG-6 | 342.31 | 339.20 | 342.70 |
| WTG-7 | 351.69 | 349.60 | 352.60 |
| WTG-8 | 331.02 | 328.20 | 331.20 |
| WTG-9 | 324.25 | 321.59 | 324.59 |
| WTG-10 | 286.13 | 284.18 | 287.18 |
| WTG-11 | 301.95 | 298.37 | 301.37 |
| WTG-12 | 304.51 | 301.60 | 304.60 |
| WTG-13 | 287.23 | 283.87 | 286.87 |



SECCIÓN B-B
ESCALA 1:25

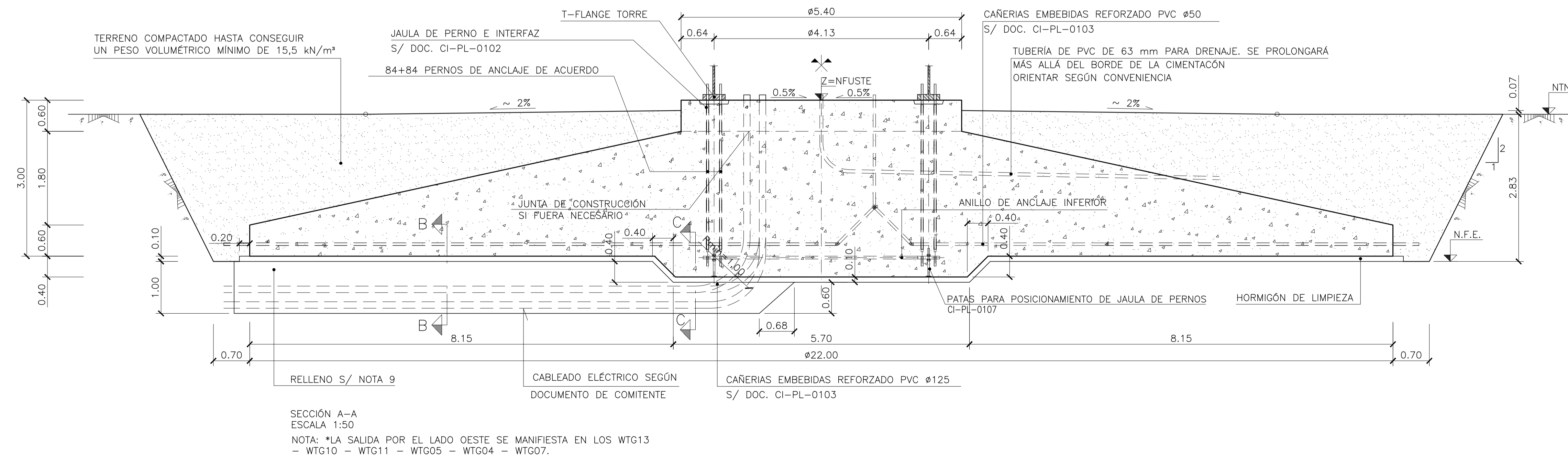


SECCIÓN C-C
ESCALA 1:25

| MEDICIONES | | |
|---------------------------|------|--------|
| HORMIGÓN EN PEDESTAL [m³] | H-45 | 13,74 |
| HORMIGÓN EN LOSA [m³] | H-35 | 536,47 |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA [m³] | H-15 | 38,71 |
| VOLUMEN GROUT [m³] | - | 0,54 |

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | |
|---|---------------------------------|
| CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005 | |
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S fy=420MPa |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 f'c=35 MPa |
| EN PEDESTAL | H-45/A2 f'c=45 MPa |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 f'c=15 MPa |
| *f'c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005. | |
| GROUT: | f'c >= 90 MPa |
| TIPO | BASF MASTERFLOW 9200 O SUPERIOR |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

| CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO | |
|---|-----------|
| LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES: | |
| 1) CAPACIDAD PORTANTE MÍNIMA DEL TERRENO: | 1000 kPa |
| 2) MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO MÍNIMO DEL TERRENO: | 200 MPa |
| 3) COEFICIENTE DE POISSON: | 0.20 |
| 4) PENDIENTE DE EXCAVACIÓN: | 1H:2V |
| 5) DENSIDAD SECA DEL RELLENO: | 15.5kN/m³ |
| 6) NIVEL FREÁTICO (NF): | NO |
| 7) ZONA SÍSMICA: | 0 |



SECCIÓN A-A
ESCALA 1:50

NOTA: *LA SALIDA POR EL LADO OESTE SE MANIFIESTA EN LOS WTG13 - WTG10 - WTG11 - WTG05 - WTG04 - WTG07.

NOTAS

- Las cotas están en metros salvo que se indique lo contrario.
- El talud de excavación se adaptará en función de la información facilitada.
- Se ha estimado un talud de 1H:2V. Este talud deberá ser confirmado por un geólogo especialista en campo.
- Deberá prestarse especial atención a la adecuada puesta en obra y vibrado utilizando vibradores mecánicos del hormigón en las zonas críticas y particularmente en toda la zona situada por encima y por debajo de la brida inferior de anclaje.
- En verano debe prestarse especial atención al curado del hormigón. La dirección facultativa podrá exigir la protección de la cimentación con una lámina impermeable para evitar una pérdida de humedad en verano.
- La base de la excavación debe ser rociada con agua y bien compactada, antes de disponer el hormigón de limpieza.
- Los tubos de conexión y el sistema de puesta a tierra se definen en el plano correspondiente.
- Los niveles de terreno natural "NTN" indicados en en plano fueron tomados en los ejes de los aerogeneradores.
- a) Hormigón H-15
b) Relleno de densidad controlada RDC con resistencia a la compresión a los 28 días mayor a los 0,30 MPa.

APROBADO
APTO PARA CONSTRUCCIÓN

SIMBOLOGIA

REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|--|
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCNICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| - | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| - | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|---|
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0105 | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |

| REV. | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| | DENOMINACIÓN | FECHA | DEBULO | REVISO | APROBO |

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

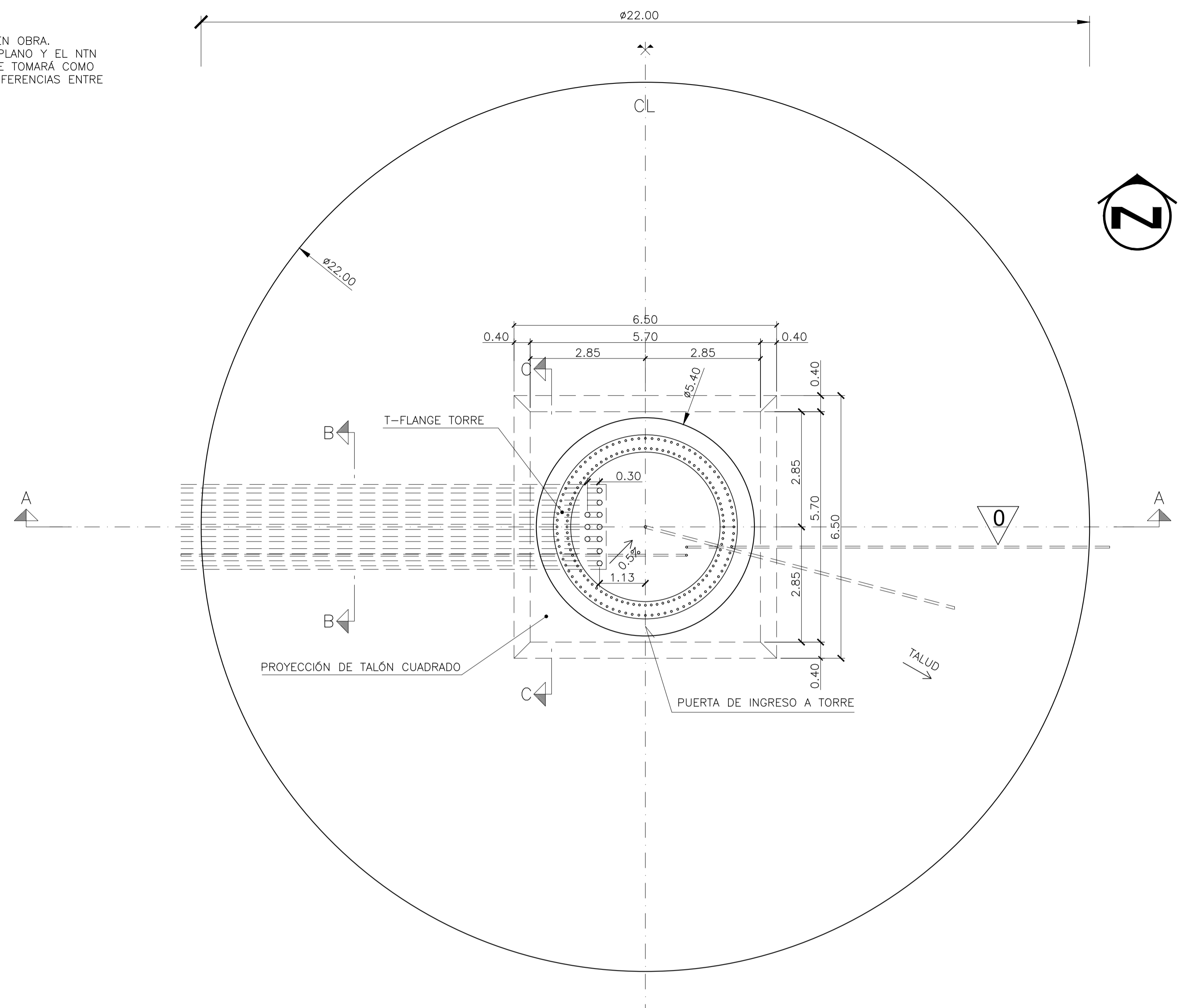
PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

| PROYECTO | DEBULO | REVISO | APROBO | TÍTULO: |
|---|----------|----------|----------|--|
| INICIAL | DV | DV | NB | PLANO DE FUNDACIONES GEOMETRÍA, VOLUMENES Y DETALLES |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | Nº PLANO: CI-PL-0100 |
| FRMA: | | | | REVISOR: ESCALA INDIC. 1:2 |
| REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE. | | | | Nº PLANO CONTRATISTA: CI-PL-0100 |

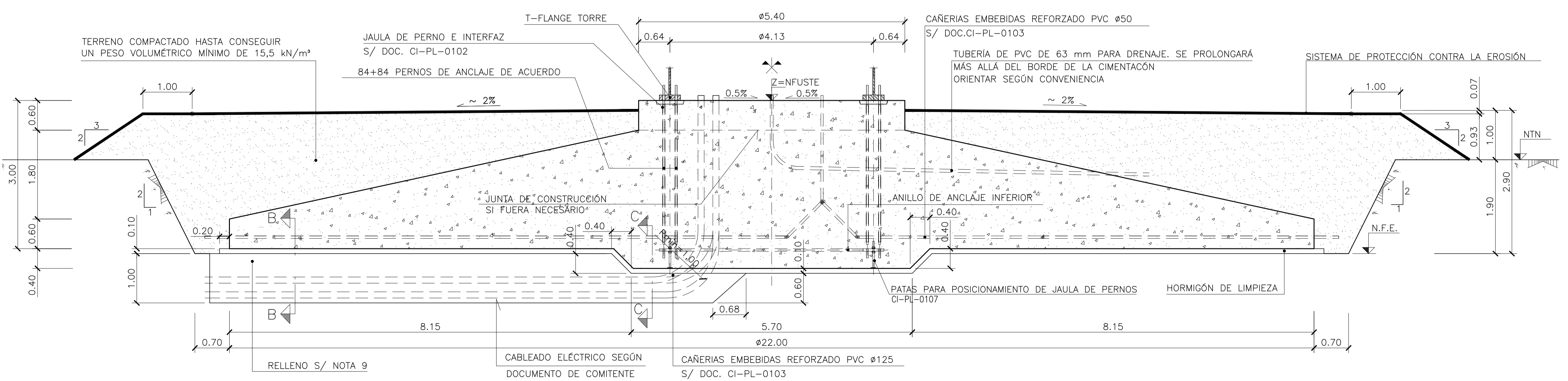
NIVELES A VERIFICAR

LOS SIGUIENTES NIVELES SERÁN VERIFICADOS EN OBRA. SI LAS DIFERENCIAS ENTRE EL NIVEL NTN DE PLANO Y EL NTN VERIFICADO EN OBRA ES MAYOR DE 20 CM, SE TOMARÁ COMO VÁLIDO ESTE ÚLTIMO Y SE RESPETARÁN LAS DIFERENCIAS ENTRE NIVELES DE LA SIGUIENTE TABLA.

| POSICIÓN | NTN [m] | NFE [m] | NFUSTE [m] |
|----------|---------|---------|------------|
| WTG-1 | 314.07 | 311.25 | 314.25 |
| WTG-2 | 351.29 | 346.49 | 349.49 |
| WTG-3 | 304.32 | 301.30 | 304.30 |
| WTG-4 | 303.10 | 300.80 | 303.80 |
| WTG-5 | 326.17 | 321.70 | 324.70 |
| WTG-6 | 342.31 | 339.20 | 342.70 |
| WTG-7 | 351.69 | 349.60 | 352.60 |
| WTG-8 | 331.02 | 328.20 | 331.20 |
| WTG-9 | 324.25 | 321.59 | 324.59 |
| WTG-10 | 286.13 | 284.18 | 287.18 |
| WTG-11 | 301.95 | 298.37 | 301.37 |
| WTG-12 | 304.51 | 301.60 | 304.60 |
| WTG-13 | 287.23 | 283.87 | 286.87 |

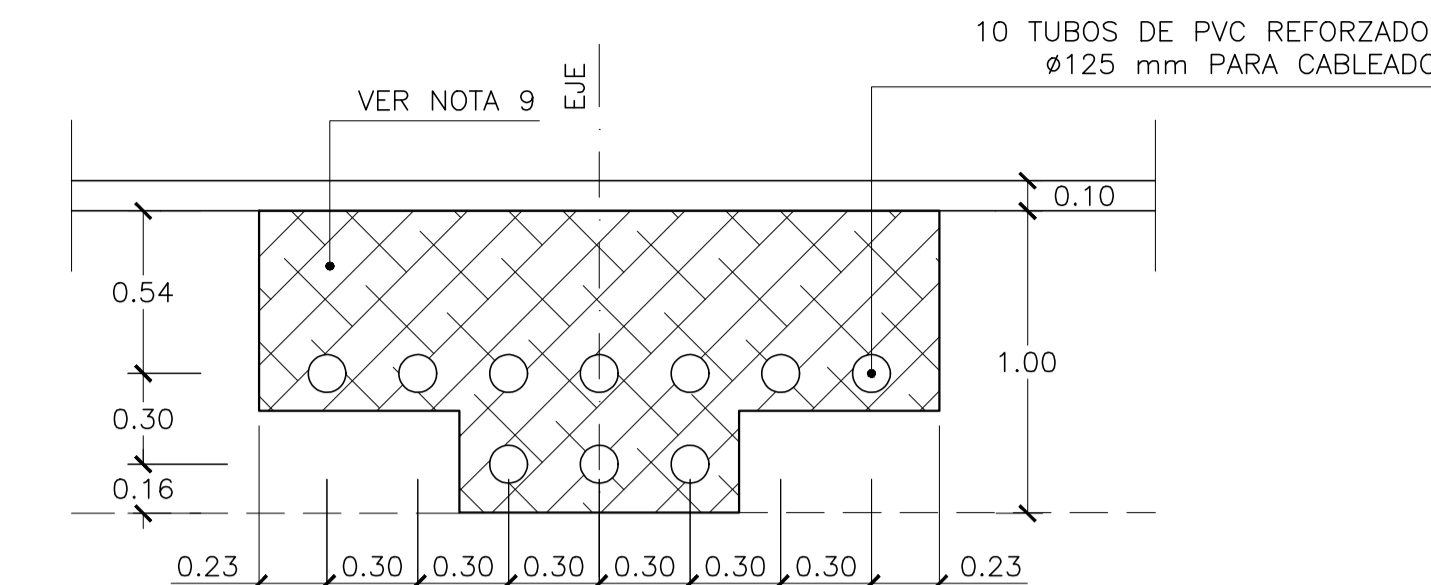


PLANTA
ESCALA 1:75

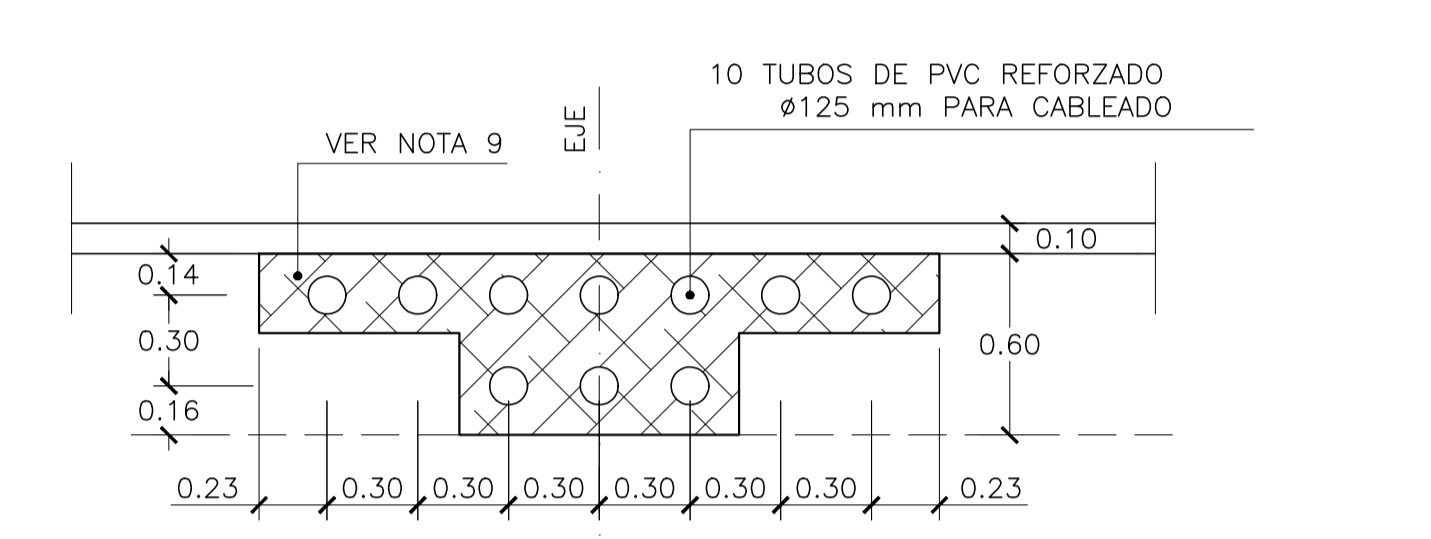


SECCIÓN A-A
ESCALA 1:50

NOTA: *LA SALIDA POR EL LADO OESTE SE MANIFIESTA EN LOS WTG13 - WTG10 - WTG11 - WTG05 - WTG04 - WTG07.



SECCIÓN B-B
ESCALA 1:25



SECCIÓN C-C
ESCALA 1:25

| MEDICIONES | | |
|---------------------------|------|--------|
| HORMIGÓN EN PEDESTAL [m³] | H-45 | 13,74 |
| HORMIGÓN EN LOSA [m³] | H-35 | 536,47 |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA [m³] | H-15 | 38,71 |
| VOLUMEN GROUT [m³] | - | 0,54 |

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005 | |
|---|---------------------------------|
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S fy=420MPa |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 f'c=35 MPa |
| EN PEDESTAL | H-45/A2 f'c=45 MPa |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 f'c=15 MPa |
| *f'c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005. | |
| GROUT: | f'c >= 90 MPa |
| TIPO | BASF MASTERFLOW 9200 O SUPERIOR |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

| CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO LAS PRINCIPALES CARACTERÍSTICAS GEOTÉCNICAS SON LAS SIGUIENTES: | |
|---|-----------|
| 1) CAPACIDAD PORTANTE MÍNIMA DEL TERRENO: | 1000 kPa |
| 2) MÓDULO ELÁSTICO ESTÁTICO MÍNIMO DEL TERRENO: | 200 MPa |
| 3) COEFICIENTE DE POISSON: | 0.20 |
| 4) PENDIENTE DE EXCAVACIÓN: | 1H:2V |
| 5) DENSIDAD SECA DEL RELLENO: | 15.5kN/m³ |
| 6) NIVEL FREÁTICO (NF): | NO |
| 7) ZONA SÍSMICA: | 0 |

NOTAS

- Las cotas están en metros salvo que se indique lo contrario.
- El talud de excavación se adaptará en función de la información facilitada.
- Se ha estimado un talud de 1H:2V. Este talud deberá ser confirmado por un geólogo especialista en campo.
- Deberá prestarse especial atención a la adecuada puesta en obra y vibrado utilizando vibradores mecánicos del hormigón en las zonas críticas y particularmente en toda la zona situada por encima y por debajo de la brida inferior de anclaje.
- En verano debe prestarse especial atención al curado del hormigón. La dirección facultativa podrá exigir la protección de la cimentación con una lámina impermeable para evitar una pérdida de humedad en verano.
- La base de la excavación debe ser rociada con agua y bien compactada, antes de disponer el hormigón de limpieza.
- Los tubos de conexión y el sistema de puesta a tierra se definen en el plano correspondiente.
- Los niveles de terreno natural "NTN" indicados en el plano fueron tomados en los ejes de los aerogeneradores.
- a) Hormigón H-15
b) Relleno de densidad controlada RDC con resistencia a la compresión a los 28 días mayor a los 0,30 MPa.

APROBADO
APTO PARA CONSTRUCCIÓN

SIMBOLOGIA

REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|--|
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCNICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| - | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| - | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|---|
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0105 | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |

| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |
|------|------------------------|----------|---------|--------|--------|
| REV. | DENOMINACIÓN | FECHA | DEBUIJO | REVISO | APROBO |

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

| PROYECTO | DEBUIJO | REVISO | APROBO | TITULO: |
|----------|----------|----------|----------|--|
| INICIAL | DV | DV | NB | PLANO DE FUNDACIONES GEOMETRÍA, VOLUMENES Y DETALLES |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | Nº PLANO: CI-PL-0100 |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | REVISION: ESCALA |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | INDIC. USA 4 de 4 |

NOTAS:

A. FUNDACIÓN

- 1.- HORMIGÓN DE LIMPIEZA: HORMIGÓN H-15
- 2.- HORMIGÓN GRADO H-35/A2 (EN LOSA) CON 90% DE NIVEL DE CONFIANZA. RESISTENCIA CILINDRICA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS ≥ 35 MPA RAZÓN AGUA CEMENTO A/C < 0,45.

HORMIGÓN GRADO H-45/A2 (EN PEDESTAL) CON 90% DE NIVEL DE CONFIANZA. RESISTENCIA CILINDRICA MÍNIMA A LA COMPRESIÓN A LOS 28 DÍAS ≥ 45 MPA RAZÓN AGUA CEMENTO A/C < 0,45. MÁXIMO CONTENIDO EN AIRE 4,5%.

HORMIGONES SEGÚN CIRSOC 201-2005
- 3.- GROUT f'c >= 90 MPa
EL GROUT A APLICAR SERA TIPO BASF TIPO MASTERFLOW 9200 O SUPERIOR
- 4.- DIMENSIONES MÁXIMAS (T. MAX.) DEL AGREGADO GRUESO PARA HORMIGÓN:

FUNDACIÓN: 37.5 mm
- 5.- ACERO PARA HORMIGÓN ARMADO:

ADN 420 SEGÚN NORMA CIRSOC 201-2005

ANTES DE COLOCAR EL HORMIGÓN SE DEBERÁ CUMPLIMENTAR UN PROTOCOLO DEBIDAMENTE FIRMADO POR LA INSPECCIÓN Y EL CONSTRUCTOR QUE ESTABLEZCA QUE TODOS LOS INSERTOS, DUCTOS, CABLES, ETC. HAN SIDO MONTADOS EN LA FUNDACIÓN ADECUADAMENTE.

7.-TERMINACIÓN SUPERFICIAL DEL HORMIGÓN:

DEBIDO A QUE LA FUNDACIÓN NO TENDRÁ SUPERFICIES EXPUESTAS A LA VISTA, EL GRADO DE TERMINACIÓN SE PODRÁ CONSIDERAR COMO TIPO 1 QUE SE DEFINE CONSIDERANDO LAS SIGUIENTES IRREGULARIDADES MÁXIMAS:

IRREGULARIDAD PROGRESIVA : 10 mm EN 1,50 m
BRUSCA : 6 mm

LAS TOLERANCIAS PROGRESIVAS CORRESPONDEN A LAS IRREGULARIDADES SUAVES PRESENTES EN LA SUPERFICIE. EN LAS SUPERFICIES REGLADAS SE PUEDE ESTABLECER LA IRREGULARIDAD MIDIENDO CON UNA REGLA DE 1,5 m DE LONGITUD.

LAS TOLERANCIAS BRUSCAS CORRESPONDEN A RESALTES Y ESCALONES DE LA SUPERFICIE. LA TOLERANCIA SE APLICARÁ MIDIENDO DIRECTAMENTE LA PARED DEL ESCALON.

CON RESPECTO A LOS MOLDES, SE DEBE CONSIDERAR LO QUE SIGUE:

- LOS MOLDES DEBERÁN DISEÑARSE CON UNA RIGIDEZ TAL QUE SOPORTEN LA PRESIÓN DEL HORMIGÓN SIN EXPERIMENTAR DEFORMACIONES SUPERFICIALES MAYORES QUE LAS TOLERANCIAS ANTES ESTABLECIDAS.
- LOS MOLDES DEBERÁN SER ESTANCOS PARA IMPEDIR QUE SE PRODUZCAN PERDIDAS DE LA LECHADA DE HORMIGÓN.
- LOS MOLDES PODRÁN SER DE MADERA, ACERO U OTRO MATERIAL APROBADO POR LA INSPECCIÓN TÉCNICA.
- LA MADERA DEBERÁ SER DE LA CALIDAD ADECUADA PARA EVITAR QUE LOS USOS SUCESIVOS LA DEFORMEN EXCESIVAMENTE O SE PRODUZCAN DECOLORACIONES QUE MANCHEN LA SUPERFICIE DEL HORMIGÓN.
- LOS MOLDES DE MADERA PODRÁN SER RECUBIERTOS CON PLACAS DE MADERA TERCIADA O EQUIVALENTE. NO SE ACEPTARÁ EL USO DE HOJALATA O DE LÁMINAS DE POLIETILENO PARA ESTE OBJETO.
- LOS ENCOFRADOS DE MADERA NO DEBEN QUEDAR EXPUESTOS AL VIENTO Y AL SOL DURANTE UN TIEMPO PROLONGADO.
- POSTERIORMENTE A SU REMOCIÓN, LAS CARAS INTERNAS DE LOS ENCOFRADOS SE DEBEN LIMPIAR DE TODA SUCIEDAD, MORTERO Y CUALQUIER MATERIA EXTRAÑA.
- LOS MOLDES METÁLICOS DEBERÁN TENER UNA SUPERFICIE RÍGIDA TOTALMENTE LISA, SIN ABOLLADURAS, DOBLECES, RESALTES O ENTRANTES QUE PUEDAN DEJAR HUELLAS EN EL HORMIGÓN.
- LA CARA DE LOS MOLDES EN CONTACTO CON EL HORMIGÓN DEBERÁ TRATARSE CON UN COMPUESTO QUE IMPIDA LA ADHERENCIA DEL HORMIGÓN Y QUE NO MANCHE SU SUPERFICIE. ESTE COMPUESTO PODRÁ SER UN ACEITE MINERAL O EQUIVALENTE.
- LOS MOLDES DEBERÁN FUARSE CON ELEMENTOS QUE NO QUEDEN EXPUESTOS SUPERFICIALMENTE AL RETIRAR EL MOLDE.

8.-DOSIFICACIÓN, FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN:

DEBIDO A LA MAGNITUD DEL VOLUMEN DE HORMIGÓN QUE SE COLOCARÁ EN CADA ETAPA, SE RECOMIENDA CONSIDERAR LA PARTICIPACIÓN EN LA DOSIFICACIÓN, FABRICACIÓN, TRANSPORTE Y COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN DE UN INGENIERO ESPECIALISTA EN TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN.

SE DEBERÁ DISPONER DE UNA ESPECIFICACIÓN DE COLOCACIÓN DEL HORMIGÓN DE CADA ETAPA.

- 9.- TODOS LOS PRODUCTOS A USAR COMO ADITIVOS DEL HORMIGÓN, SELLOS, ETC, DEBERÁN SER APLICADOS SIGUIENDO ESTRICTAMENTE LAS INSTRUCCIONES DEL FABRICANTE Y RECONOCIDA MARCA EN EL MERCADO.
- 10.- RECOMENDACIONES GENERALES PARA MINIMIZAR LA RETRACCIÓN:
 - SE DEBERÁ EVITAR CORRIENTES DE AIRE Y LOS RAYOS DIRECTOS DEL SOL POR MEDIO DE PANTALLAS Y COBERTORES FABRICADOS CON MALLAS DE TIPO RASHELL.
 - COLOCAR EL HORMIGÓN EN UN HORARIO EN QUE LA TEMPERATURA AMBIENTE SEA LA MÍNIMA POSIBLE Y ENFRIAR ARMADURAS Y MOLDES SI FUESE NECESARIO.
 - EVITAR LOS RAYOS DIRECTOS DEL SOL SOBRE MOLDES Y SOBRE LA SUPERFICIE DE HORMIGÓN.
 - UTILIZAR EL MÁXIMO TAMAÑO DE ÁRIDO COMPATIBLE CON EL ELEMENTO A HORMIGONAR.

11.-PUESTA EN OBRA DEL HORMIGÓN:

- DEBERÁ PRESTARSE ESPECIAL ATENCIÓN A LA ADECUADA PUESTA EN OBRA Y VIBRADO UTILIZANDO VIBRADORES MECÁNICOS DEL HORMIGÓN EN LAS ZONAS CRÍTICAS Y PARTICULARMENTE EN TODA LA ZONA SITUADA POR ENCIMA Y POR DEBAJO DE LA BRIDA INFERIOR DE ANCLAJE.
- EL HORMIGÓN DE LA PARTE INFERIOR DEL PEDESTAL DEBE SER INTRODUCIDO CON UNA VIBRACIÓN METICULOSA, POR LO TANTO, UN TRABAJADOR TIENE QUE ESTAR DENTRO DE LA CIMENTACIÓN.
- EL HORMIGÓN EN LOS PRIMEROS 0,50 m DE LA ZAPATA SERÁ DE CONSISTENCIA FLUIDA HASTA EL COMIENZO DEL CANTO VARIABLE. LA COMPACTACIÓN SE HARÁ CON CUIDADO Y LENTAMENTE, PARA, POR UN LADO, CONSEGUIR LA COMPACTIDAD CORRECTA Y, POR OTRO, LA PENDIENTE SIN QUE DISCURRA EL HORMIGÓN. PARA ELLO HAY QUE ENCONTRAR EL PUNTO ADECUADO EN EL QUE EL HORMIGÓN EMPIEZA A FRAGUAR Y TENGA UNA CONSISTENCIA MENOS FLUIDA.
- EN LA ZONA DE LA CARA SUPERIOR NIVELADA SE DEBERÁN HORMIGONAR EN ANILLOS HORIZONTALES DESDE ABAJO/EXTERIOR HACIA ARRIBA/INTERIOR.
- SE DEBE EJECUTAR LA PARTE EXTERIOR EN EL RITMO ASCENDENTE ANTERIORMENTE MENCIONADO. EN ESTE PROCESO, SE ASEGURARÁ QUE EL HORMIGÓNADO DEL PLANO INCLINADO QUEDA VIBRADO Y CONECTADO A LAS CAPAS ANTERIORES DE FORMA CORRECTA.
- SE DEBE ASEGURAR UN CORRECTO CURADO DEL HORMIGÓN, ASÍ COMO UN CORRECTO VIBRADO DE ÉSTE POR MEDIO DE VIBRADO MECÁNICO EN LAS ZONAS CRÍTICAS CERCANAS A LA JAULA DE PERNOS.
- TANTO EN INVIERNO COMO EN VERANO SE DEBERÁ PRESTAR ESPECIAL ATENCIÓN AL PROCESO DE CURADO DEL HORMIGÓN. EL JEFE DE OBRA PODRÍA REQUERIR EL EMPLEO DE UN GEOTEXTIL PARA PROTEGER LA FUNDACIÓN ASÍ COMO REALIZAR UN REGADO DE ÉSTA PARA EVITAR ENRIAMIENTOS BRUSCOS DEL HORMIGÓN BAJO TEMPERATURAS AMBIENTALES ELEVADAS.
- LA LOSA Y EL PEDESTAL SE HORMIGONARÁN SEGUIDAMENTE, NO SE DEJARÁ UNA JUNTA FRÍA ENTRE LOS DOS ELEMENTOS.

C. NOTAS GENERALES

- 1.- LAS COTAS ESTÁN EN METROS SALVO QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO.
- 2.- LA DENSIDAD DEL RELLENO DEBE SER IGUAL O SUPERIOR A 15.5 N/m³.
- 3.- LA RÍGIDEZ ROTACIONALES MÍNIMAS SEGÚN EL DOCUMENTO DE CARGAS DEL TECNÓLOGO SON DE:

| | |
|--|--------------|
| RIGIDEZ ROTACIONAL MÍNIMA DINÁMICA: | 70 GNm/rad. |
| RIGIDEZ ROTACIONAL MÍNIMA ESTÁTICA: | 14 GNm/rad. |
| RIGIDEZ ROTACIONAL MÍNIMA HORIZONTAL DINÁMICA: | 0,5 GNm/rad. |
- 4.- VER DOCUMENTO DE TECNÓLOGO PARA LA CONEXIÓN TORRE-FUNDACIÓN MEDIANTE PERNOS.
- 5.- EL DRENAJE DEBERÁ SER REALIZADO SEGÚN LAS CONDICIONES LOCALES Y LA COMPOSICIÓN DEL SUELO.
- 6.- PARA LOS CONDUCTOS DE PVC (NÚMERO Y DIÁMETRO), VER PLANO CI-PL-0103
- 7.- PROTOCOLO DE MONTAJE PARA JAULA DE PERNOS SERÁ DE ACUERDO AL DOCUMENTO 6.1General_Description_Generi _xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_ Contrdoc_EN_r02 PROPORCIONADO POR TECNÓLOGO

D. SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA LA EROSIÓN

PARA PROTEGER EL RELLENO UBICADO SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO NATURAL Y GARANTIZAR SU ESTABILIDAD DURANTE LA VIDA ÚTIL DEL WTG (20 AÑOS), ES INDISPENSABLE REALIZAR UN MANTENIMIENTO DE ESTE RELLENO O APLICAR DIFERENTES SISTEMAS CONTRA LA EROSIÓN SUPERFICIAL. EL SISTEMA RECOMENDADO PARA ESTE CASO EN PARTICULAR CONSISTE EN UN SISTEMA DE CONFINAMIENTO CELULAR, POR EJEMPLO: CELL-TI GEOSYNTHETICS O SIMILAR. DEPENDIENDO DE LOS RECURSOS DEL SITIO Y SIEMPRE BAJO LA APROBACIÓN DEL INGENIERO, OTRAS OPCIONES PODRÍAN SER:

- LA ÚLTIMA CAPA DE RELLENO DISPUESTA CON UN SUELO BIEN GRADUADO DE PARTÍCULAS GRUESAS, PREFERIBLEMENTE PIEDRAS DE MAYOR TAMAÑO Y PESO.
- DIFERENTES TIPOS DE SIEMBRA, TALES COMO ESPECIMENES HERBÁCEOS Y LEÑOSOS.

B. ESPECIFICACIONES DE EXCAVACIÓN Y RELLENO

GENERAL

VER INFORMES DE MECÁNICA DE SUELOS Y DOCUMENTOS DE VERIFICACIÓN GEOTÉCNICA DEL PROYECTO.

EXCAVACIÓN

EL TALUD DE EXCAVACIÓN SE ADOPTARÁ EN FUNCIÓN DE LA INFORMACIÓN FACILITADA. SE HA ESTIMADO DE 1H:2V.

EL SELLO DE LA EXCAVACIÓN DEBERÁ SER RECIBIDO POR EL INGENIERO GEOTÉCNICO RESPONSABLE, QUIEN DECIDIRÁ SI ES O NO NECESARIO HACER UNA SOBREEXCAVACIÓN GENERAL O LOCAL. LA SOBREEXCAVACIÓN QUE PUDIERA SER NECESARIA HACER SE DEBERÁ RELLENAR CON MATERIAL DE RELLENO SELECCIONADO COMPACTADO.

SI LA FUNDACIÓN SE UBICARÁ SOBRE UNA LADERA CON INCLINACIÓN IMPORTANTE, PARA ASEGURAR QUE LA FUNDACIÓN TENGA UN RESGUARDO SUFICIENTE Y QUE POR CONSIGUIENTE LA CAPACIDAD DEL TERRENO EN TODA LA SUPERFICIE DE APOYO SEA LA MISMA, SE ESTABLECE QUE PARA AQUELLOS CASOS EN LOS QUE LA INCLINACIÓN DE LA LADERA SEA SUPERIOR A 30°, LA EXCAVACIÓN SE DEBERÁ PROFUNDIZAR HASTA UNA COTA TAL QUE SE ASEGURE UN RESGUARDO MÍNIMO ENTRE EL BORDE Y EL FRENTE DE LA LADERA.

SE RECOMIENDA ELIMINAR PREVIAMENTE LAS ARENAS "SUELTAS" O DE BAJA COMPACTIDAD PARA EVITAR CONTAMINAR EL RESTO DEL MATERIAL DE LA EXCAVACIÓN.

RELLENO DE CONFINAMIENTO SOBRE LA FUNDACIÓN

EL RELLENO DE CONFINAMIENTO SOBRE LA FUNDACIÓN SE DEBE CONSTRUIR COMO SIGUE:

- EL RELLENO SE PODRÁ COMENZAR DESPUES DE TRASCURRIDOS COMO MÍNIMO 5 DÍAS DESDE EL HORMIGONADO DE LA CIMENTACIÓN.

- COLOCACIÓN:

EL RELLENO NO DEBE INTERFERIR CON CURSOS NATURALES DE AGUA.
EL MATERIAL SE COLOCARÁ EN CAPAS DE 30 cm DE ESPESOR MÁXIMO SUELTO Y CON UN CONTENIDO DE HUMEDAD IGUAL A LA ÓPTIMA ± 2%.
EL MATERIAL DE CADA CAPA SE DEBE COMPACTAR CON EL PASO DE LOS MISMOS EQUIPOS DE COLOCACIÓN.
EL MATERIAL DE RELLENO DEBERÁ SER COMPACTADO AL 98% DEL PROCTOR MODIFICADO T-180 DE MODO QUE SE CONSIGA LA DENSIDAD DEL RELLENO REQUERIDA EN EL PROYECTO.

- CONTROL:

SE DEBERÁ CONTROLAR EL GRADO DE COMPACTACIÓN DEL MATERIAL DE CADA CAPA CON UN MÍNIMO DE DOS DENSIDADES EN SITIO POR CAPA.

SE DEBERÁ LLEVAR UN PROTOCOLO DE RECEPCION DE CADA CAPA QUE DEBE ESTAR FIRMADO POR EL CONTRATISTA, POR LA INSPECCIÓN Y POR EL LABORATORIO QUE HACE EL CONTROL DE COMPACTACIÓN.

NOTAS

Nº DESCRIPCIÓN

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|------------|---|
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0105 | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |

REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|---|---------------------------------------|
| 3.3Foundation_General_Information_Tubular_Towers_Generi_xxHz_EN_r02 | INFORMACIÓN GENERAL PARA LA FUNDACIÓN |
| 6.1General_Description_Generi_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |



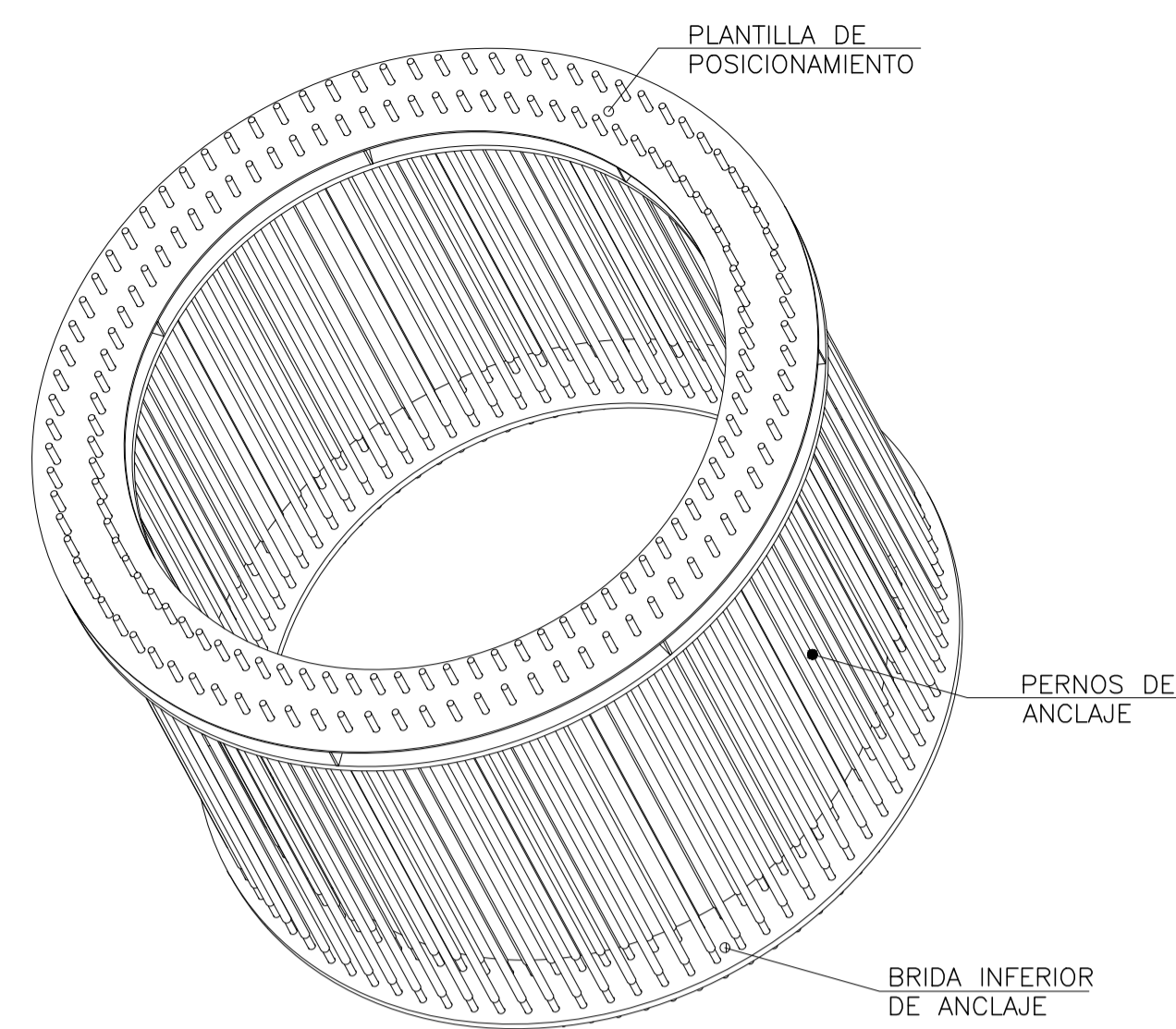
| | | | | | |
|------|------------------------|----------|---------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCION | 03/01/22 | DV | DV | NB |
| REV. | DENOMINACION | FECHA | DEBUIJO | REVISO | APROBO |

**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

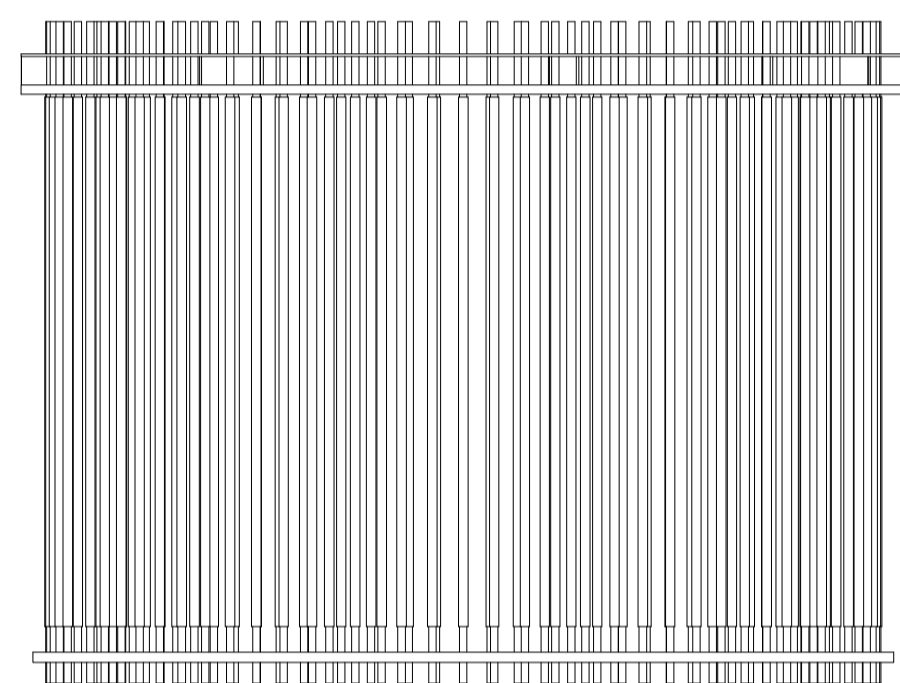
PROYECTO: **"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"**

| | | | | | | | | | | |
|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------------|-------------------------------|----------|--------|--------|------------|
| PROYECTO | INICIAL | DEBUIJO | REVISO | APROBO | TÍTULO: | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES | | | | |
| | DV | DV | NB | NB | | | | | | |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | Nº PLANO: | CI-PL-0101 | REVISION | ESCALA | INDIC. | USA 3 de 4 |
| FRMA: | | | | | Nº PLANO CONTRATISTA: | CI-PL-0101 | | | | |

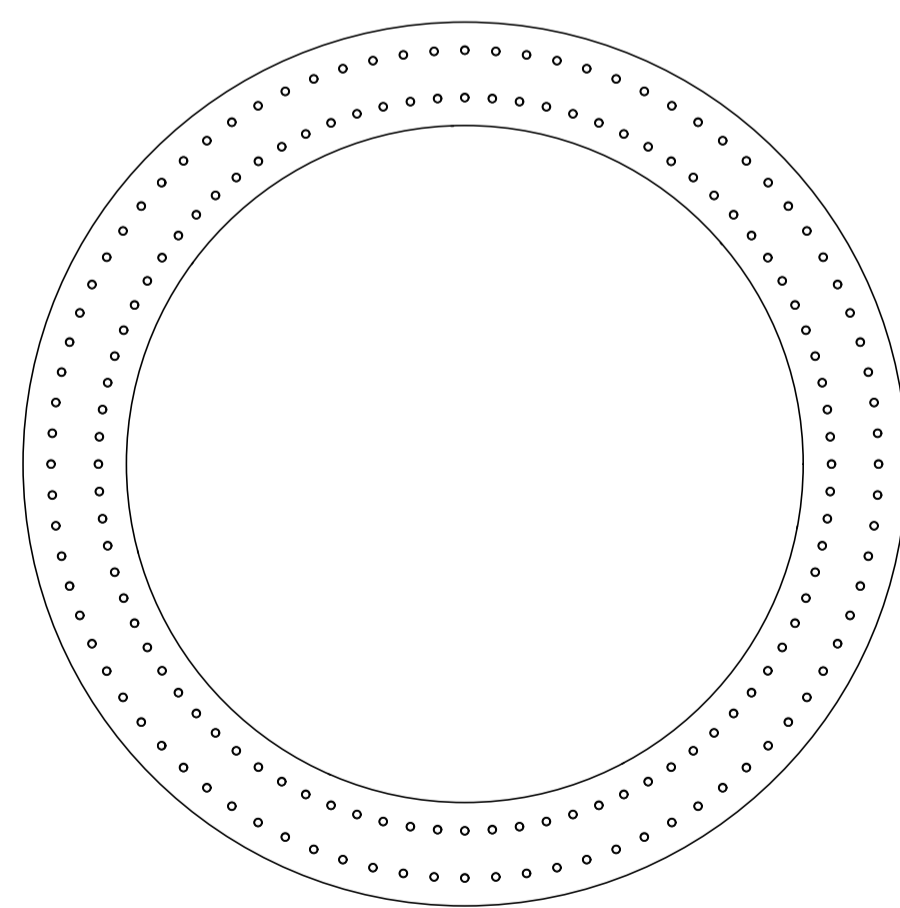
REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE.



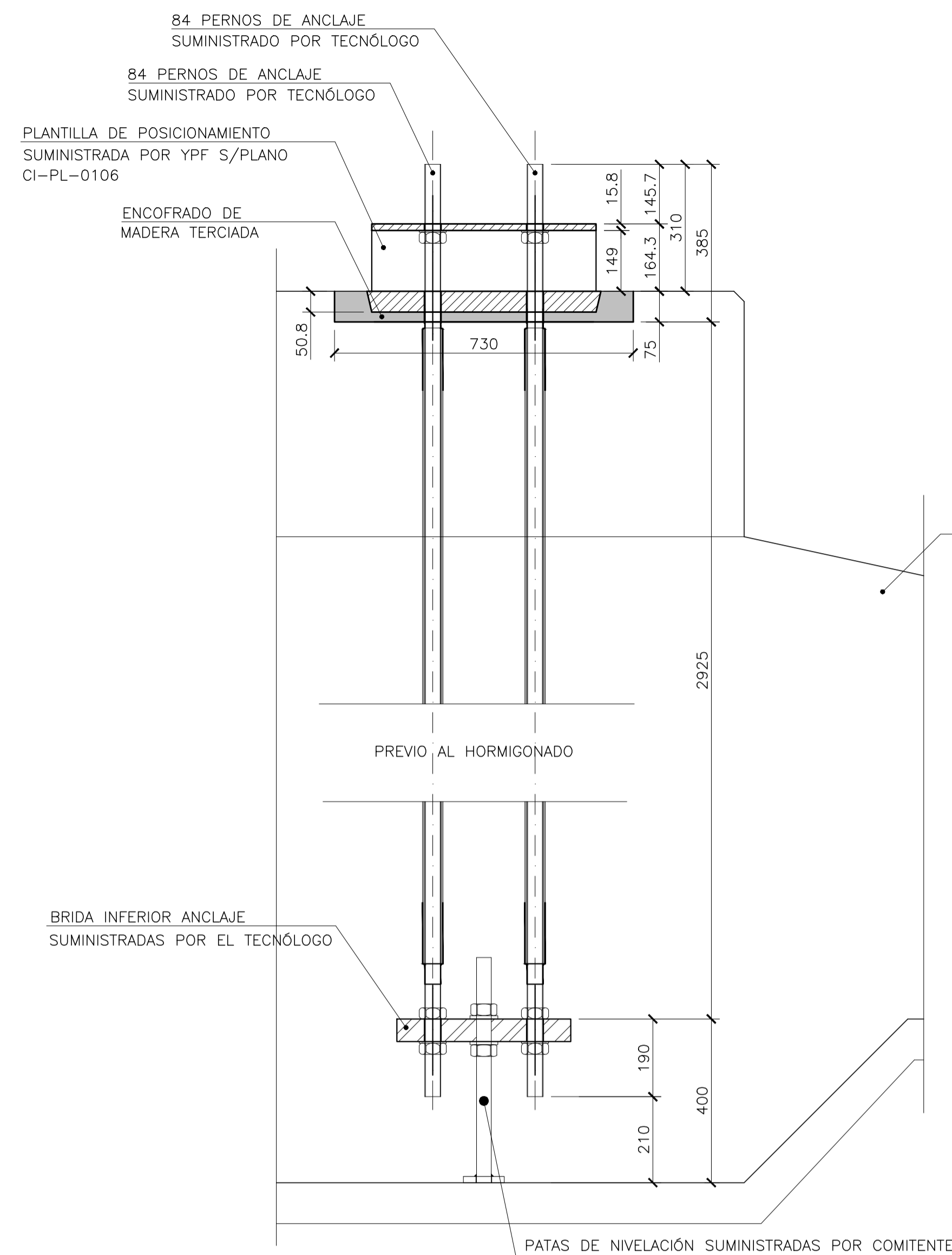
VISTA ISOMÉTRICA
JAULA DE PERNOS



VISTA FRONTAL
JAULA DE PERNOS

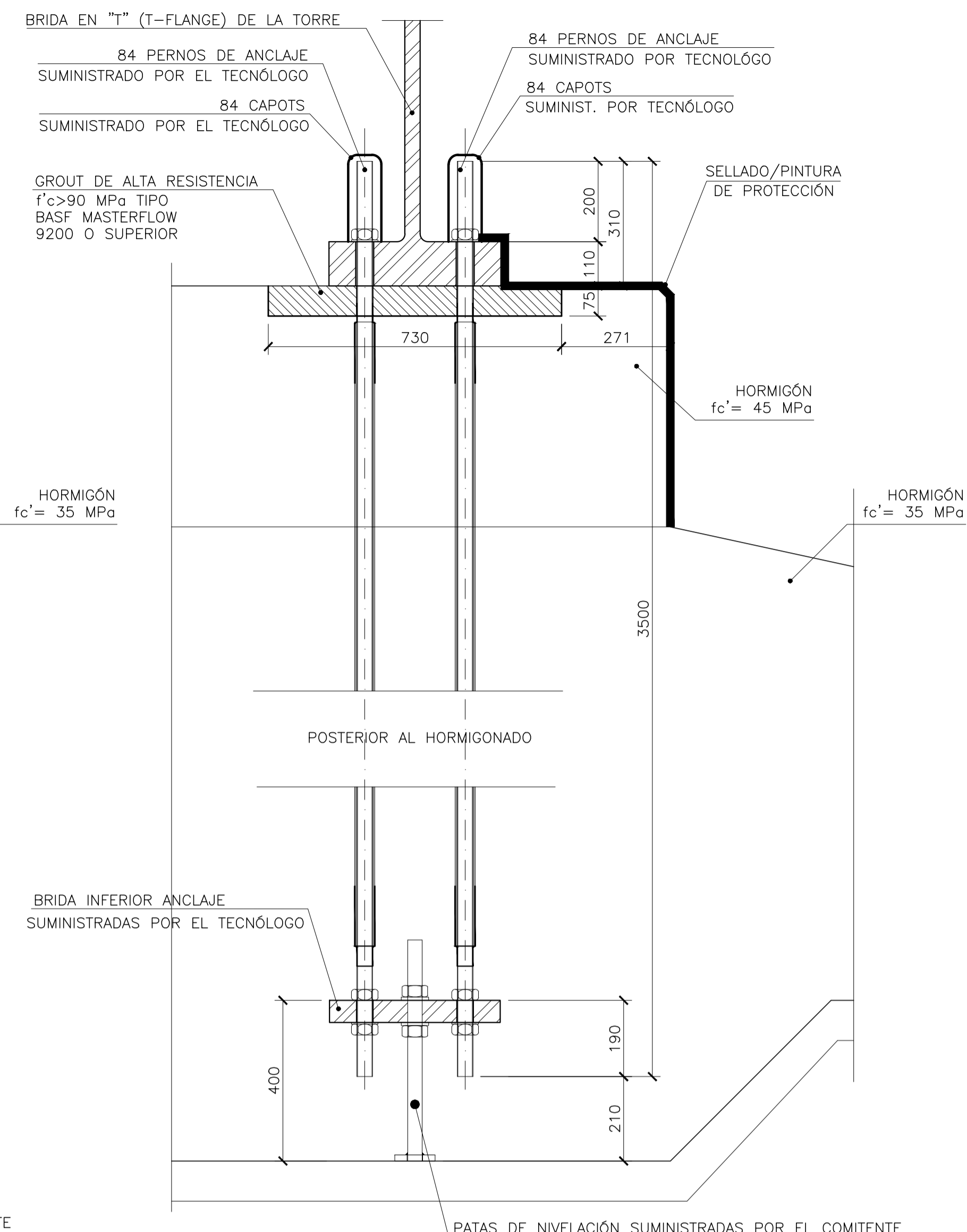


VISTA EN PLANTA
JAULA DE PERNOS



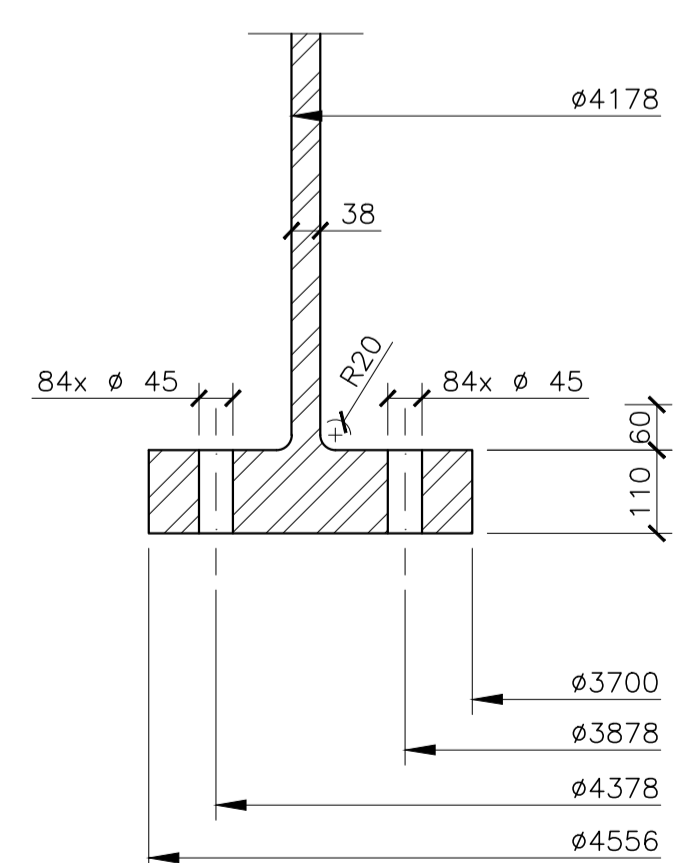
DETALLE DE JAULA DE PERNOS
PREVIAMENTE AL HORMIGONADO

ESC: 1:10
• DIMENSIONES EN MILIMETROS [mm]



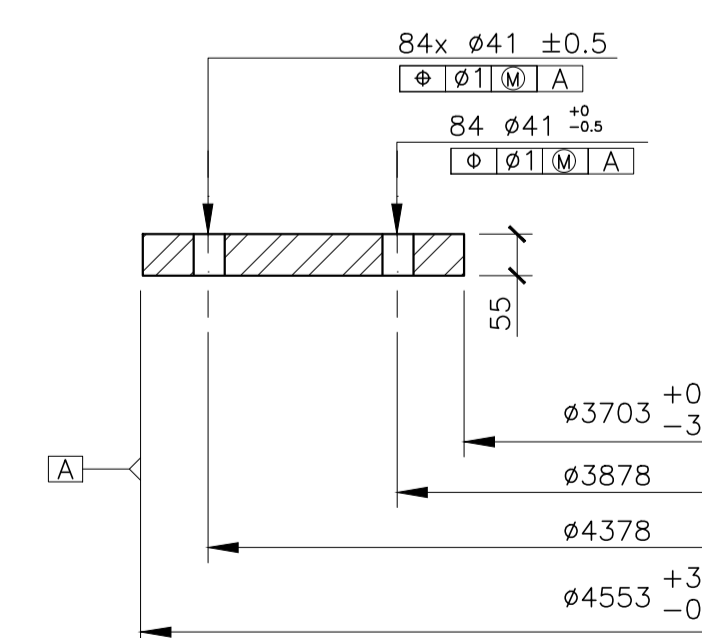
DETALLE DE JAULA DE PERNOS
POSTERIOR AL HORMIGONADO

ESC: 1:10
• DIMENSIONES EN MILIMETROS [mm]



DETALLE DE LA BRIDA "T" (T-FLANGE)

ESC: 1:10
• DIMENSIONES EN MILIMETROS [mm]



DETALLE DEL ANILLO DE ANCLAJE (EMBEBIDO)

ESC: 1:10
• DIMENSIONES EN MILIMETROS [mm]

NOTAS

| N° | DESCRIPCION |
|-------------|--|
| GENERALES | |
| 1' | - MEDIDAS EN MILIMETROS [mm] |
| 2' | - JAULA DE PERNOS (PERNOS, BRIDAS, TUERCAS, ARANDELAS Y VAINAS) DE ACUERDO CON LAS ESPECIFICACIONES DE GE PARA EL MODELO M39) |
| 3' | - PLANTILLA PARA EL POSICIONAMIENTO SEGUN PLANO CI-PL-0106 |
| 4' | - LA MINIMA RESISTENCIA DESARROLLADA EN EL HORMIGÓN DEL PEDESTAL DEBE SER DE 450 kg/cm ² (fc=45 MPa) ANTES DE APLICAR EL POSTESADO EN LOS PERNOS DE ANCLAJE. |
| 5' | - LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN DEL GROUT DEBE SER > fc=90 MPa TIPO BASE MASTERFLOW 9200 |
| 6' | - EL MATERIAL DEBERÁ SER SIN RETRACCIÓN, AUTONIVELANTE, NO TÓXICO Y ANTICORROSIVO. |
| 7' | - SU APLICACIÓN Y CURADO DEBERÁN SEGUIR LAS RECOMENDACIONES DEL FABRICANTE. |
| 8' | - LOS PERNOS DEBERÁN SER TENSADOS CON TENSIONADOR HIDRAULICO. |
| 9' | - DEBERÁ GARANTIZARSE UNA FUERZA DE PRETENSADO A CORTO PLAZO DE 540 kN POR PERNO. LA CARGA DE PRETENSADO INICIAL SE DEBERÁ CALCULAR EN FUNCIÓN DEL EQUIPO DE PRETENSADO ESPECÍFICO QUE SE UTILICE EN CAMPO, DE MANERA QUE LA FUERZA DE PRETENSADO A CORTO PLAZO SEA LA MENCIONADA. |
| 10' | - DEBERÁ VERIFICARSE QUE LA ELONGACIÓN DE LOS PERNOS NO SUPEREN EL VALOR DE 7.00 mm. |
| 11' | - EL GROUT DEBERÁ PROTEGERSE UNA VEZ SE ALCANCE LA RESISTENCIA REQUERIDA LOS PERNOS DE ANCLAJE, TUERCAS, ARANDELAS, VAINAS, CAPOTS Y BRIDA INFERIOR SERÁN SUMINISTRADAS POR EL TECNÓLOGO. |
| INSTALACIÓN | |
| 12' | - LA SECUENCIA DE INSTALACIÓN DEBERÁ REALIZARSE SIGUIENDO LAS ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE GE SEGUN EL DOCUMENTO: General_Description_Generic_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 |

APROBADO
CONFORME A OBRA

SIMBOLOGIA

REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|--|---------------------------------------|
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| 6.1General_Description_Generic_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | PROC. MONTAJE JAULA DE PERNOS |

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|---|
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0105 | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |

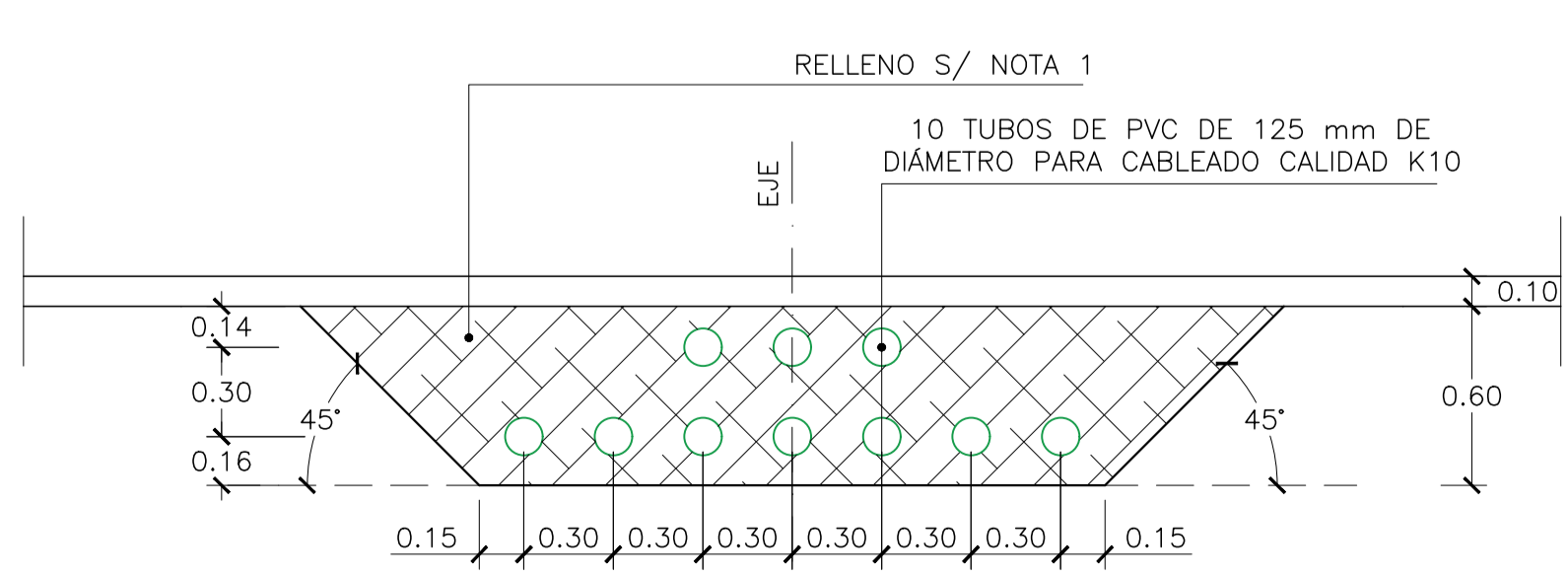
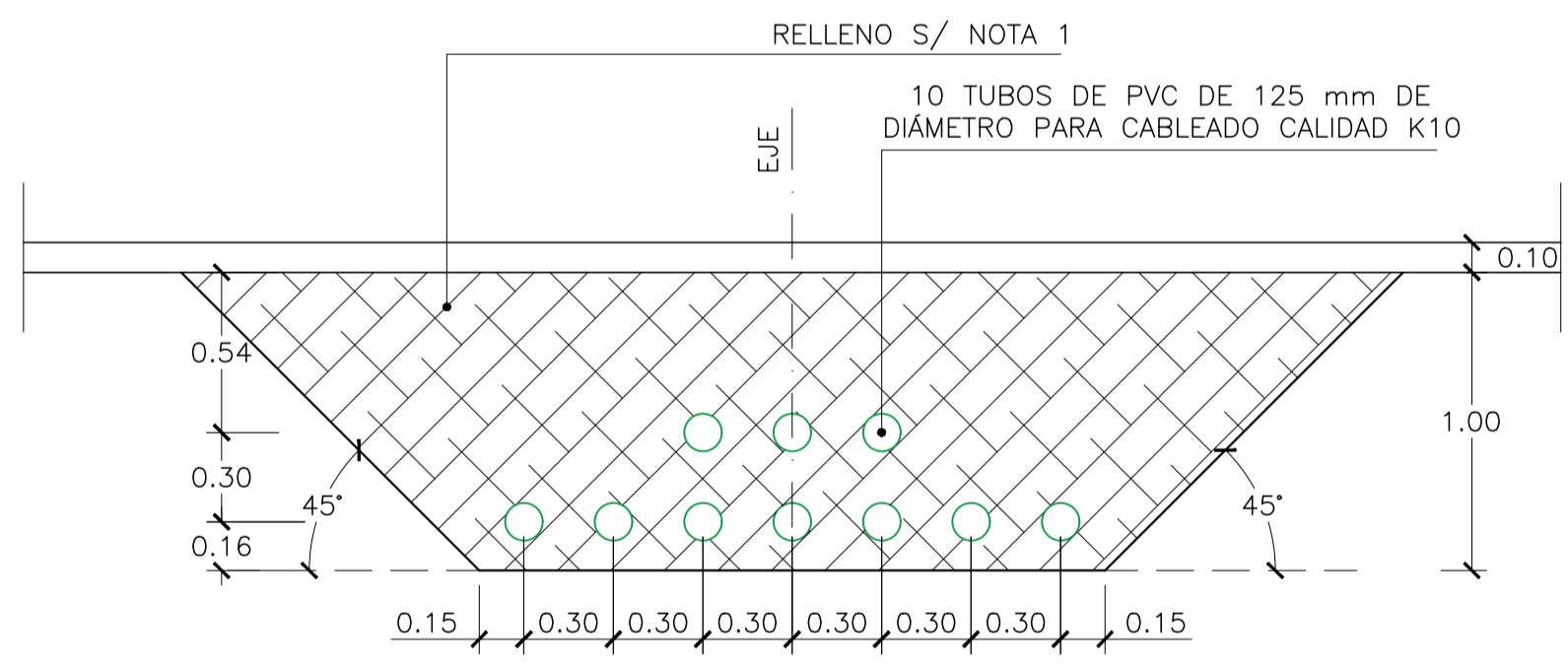
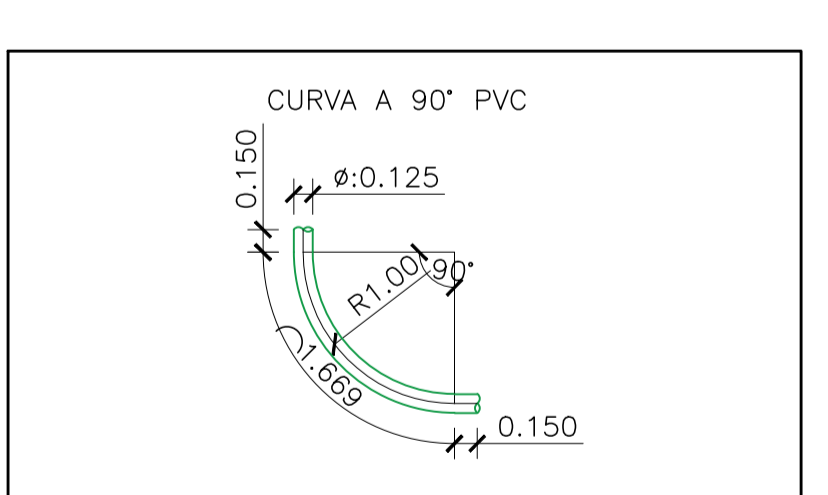
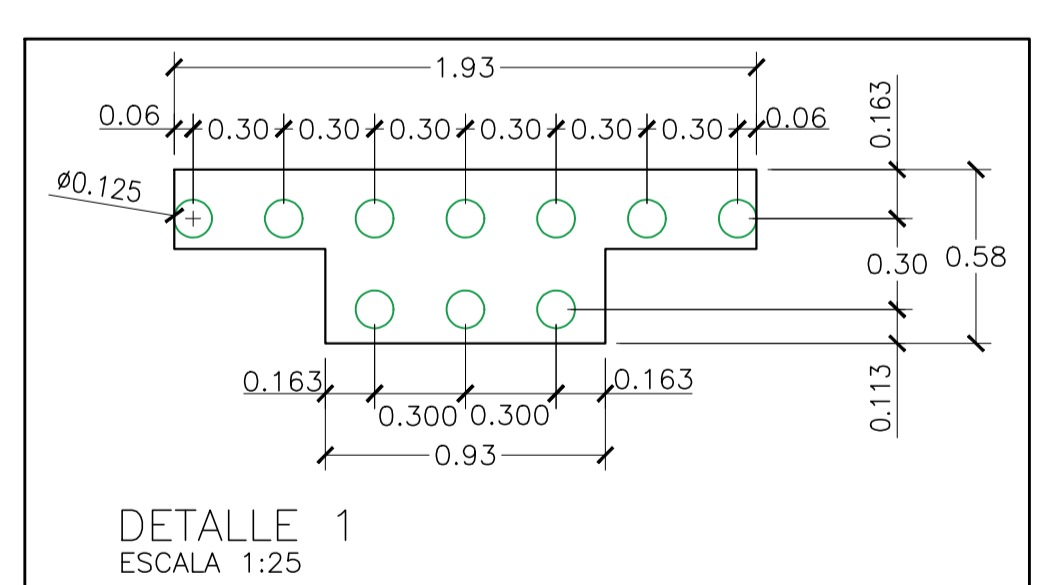
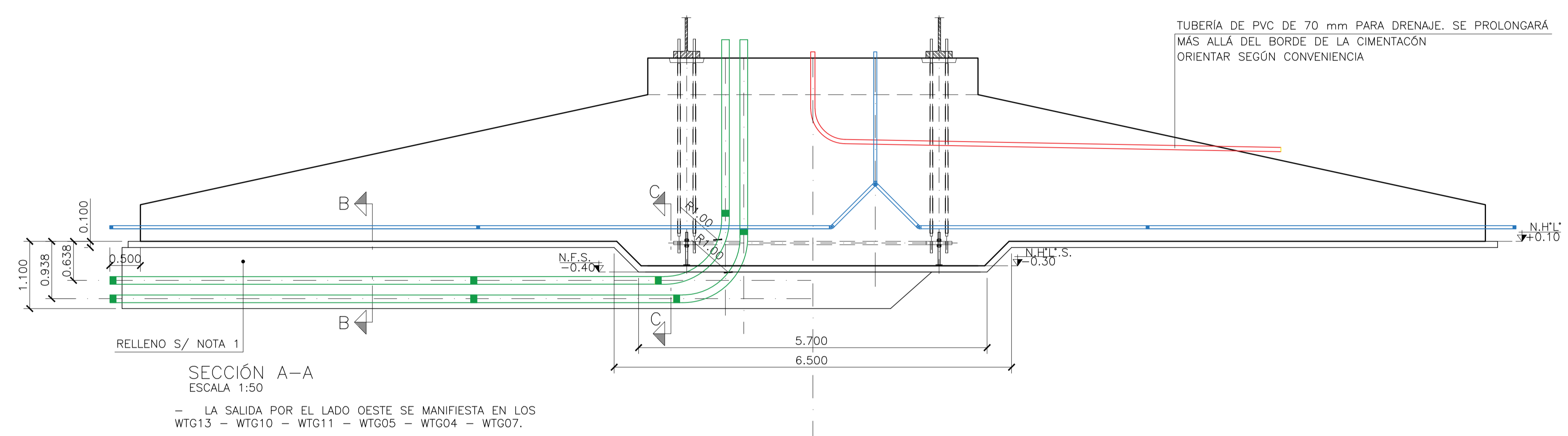
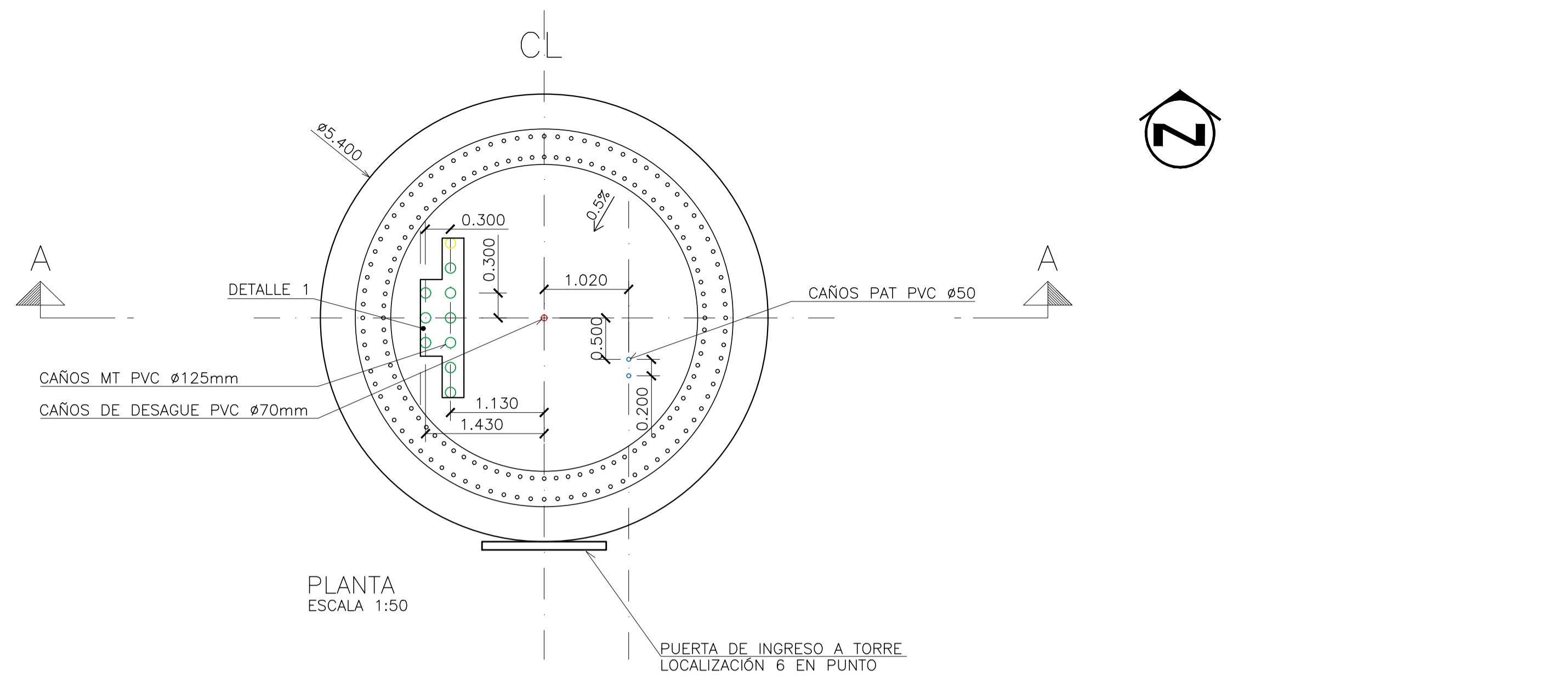
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |
|------|------------------------|----------|---------|--------|--------|
| REV. | DENOMINACIÓN | FECHA | DEBUIJO | REVISO | APROBO |
| | | | | | |

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

| PROYECTO | DEBUIJO | REVISO | APROBO | TÍTULO: |
|----------|----------|----------|----------|---|
| INICIAL | DV | DV | NB | PLANO DE DETALLES DE FUNDACIONES JAULA DE PERNOS E INTERFAZ |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | N° PLANO: 01-PL-0102 |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | REVISIÓN: ESCALA |
| FECHA: | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | INDIC. HSA 1 de 1 |

REALIZADO EN AUTOMÁTICO. NO MODIFICAR MANUALMENTE.



NOTA:
TODAS LAS COTAS ESTÁN EN METRO SALVO QUE SE INDIQUE LO CONTRARIO

MATERIALES:

- CAÑEROS MT y FO : CAÑO PVC K10 ø125mm
CURVA 90° PVC K10 ø125mm
R=1.00m
- CAÑEROS PAT: CAÑO PVC K6 ø50mm
CODO 45° PVC K6 ø50mm
- CAÑERO DRENAJE: CAÑO PVC ø70mm
CODO 45° PVC ø50mm

REFERENCIAS:

N.F.E.: NIVEL DE FONDO DE EXCAVACIÓN
N.F.S.: NIVEL DE FONDO DE SOBREECAVACIÓN
N.H.L.: NIVEL SUPERIOR DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA
N.H.L.S.: NIVEL SUPERIOR DE HORMIGÓN DE LIMPIEZA EN SOBREECAVACIÓN.

NOTAS:

- TODAS LAS CURVAS DEBEN REALIZARSE CON AMBOS EXTREMOS HEMBRA.
- LA CALIDAD DE LAS CURVAS DEBE SER K10.
- MILICIA NO ACEPTARÁ NINGUNA PIEZA QUE NO RESPETE LAS MEDIDAS INDICADAS EN EL PRESENTE PLANO DE DETALLE.

NOTAS

| Nº | DESCRIPCIÓN |
|----|---|
| 1* | RELLENO DE CAÑEROS: Podrá ser de cualquiera de los siguientes materiales a) Hormigón H=15 a) RDC: Relleno de densidad controlada cuya resistencia sea mayor a 0,30 MPa a los 28 días. |

REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|--|---------------------------------------|
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1General_Description_Generic_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |
| 3.3Foundation_General_Information_Tubular_Towers_Generic_xxHz_EN_r02 | INFORMACIÓN GENERAL PARA LA FUNDACIÓN |

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|------------|---|
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES-DETALLES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0105 | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |


| REV. | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | FECHA | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

| PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | TÍTULO: |
|----------|----------|----------|----------|--|
| INCIAL | DV | DV | NB | PLANO DE CAÑERIAS EMBEBIDAS SALIDA OESTE |
| FECHA | 11/02/20 | 11/02/20 | 11/02/20 | Nº PLANO: 0-PL-0103 |
| FECHA | | | | Nº PLANO CONTRATISTA: CI-PL-0103 |

| $f_c=35$ MPa | Longitud anclaje (m) | | Longitud solape (m) | |
|---------------|----------------------|------|---------------------|------|
| $f_y=420$ MPa | Adherencia | | Adherencia | |
| Diámetro | Buena | Mala | Buena | Mala |
| Ø10 | 0.35 | 0.45 | 0.45 | 0.60 |
| Ø12 | 0.45 | 0.55 | 0.55 | 0.70 |
| Ø16 | 0.55 | 0.75 | 0.75 | 0.95 |
| Ø20 | 0.90 | 1.11 | 1.11 | 1.45 |
| Ø25 | 1.10 | 1.40 | 1.40 | 1.80 |
| Ø32 | 1.40 | 1.80 | 1.80 | 2.35 |

NOTA: ALTERNAR SOLAPES 
 LA SEPARACIÓN LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS DE DISTINTAS CAPAS Y ENTRE BARRAS DE LA MISMA CAPA SERÁ DE 50 mm.

| NOTAS | |
|-------|--|
| N° | DESCRIPCIÓN |
| 1° | Las medidas están en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2° | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3° | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4° | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5° | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuya resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: $d \leq 50\phi$ y $d \leq 100$ cm, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | |
|---|-------------------------|
| CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005 | |
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S $f_y=420$ MPa |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 $f'_c=35$ MPa |
| EN PEDESTAL | H-45/A2 $f'_c=45$ MPa |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 $f'_c=15$ MPa |
| * f'_c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILINDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005. | |
| GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200 | |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

| SIMBOLOGIA | |
|------------|----------------------------------|
| | INDICACIÓN DE CORTE |
| | INDICADOR DE CAMBIOS EN REVISIÓN |
| | INDICACIÓN DE VISTA |

| REFERENCIAS | |
|---|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCTICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1General_Description_Generi_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

| PLANOS RELACIONADOS | |
|---------------------|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

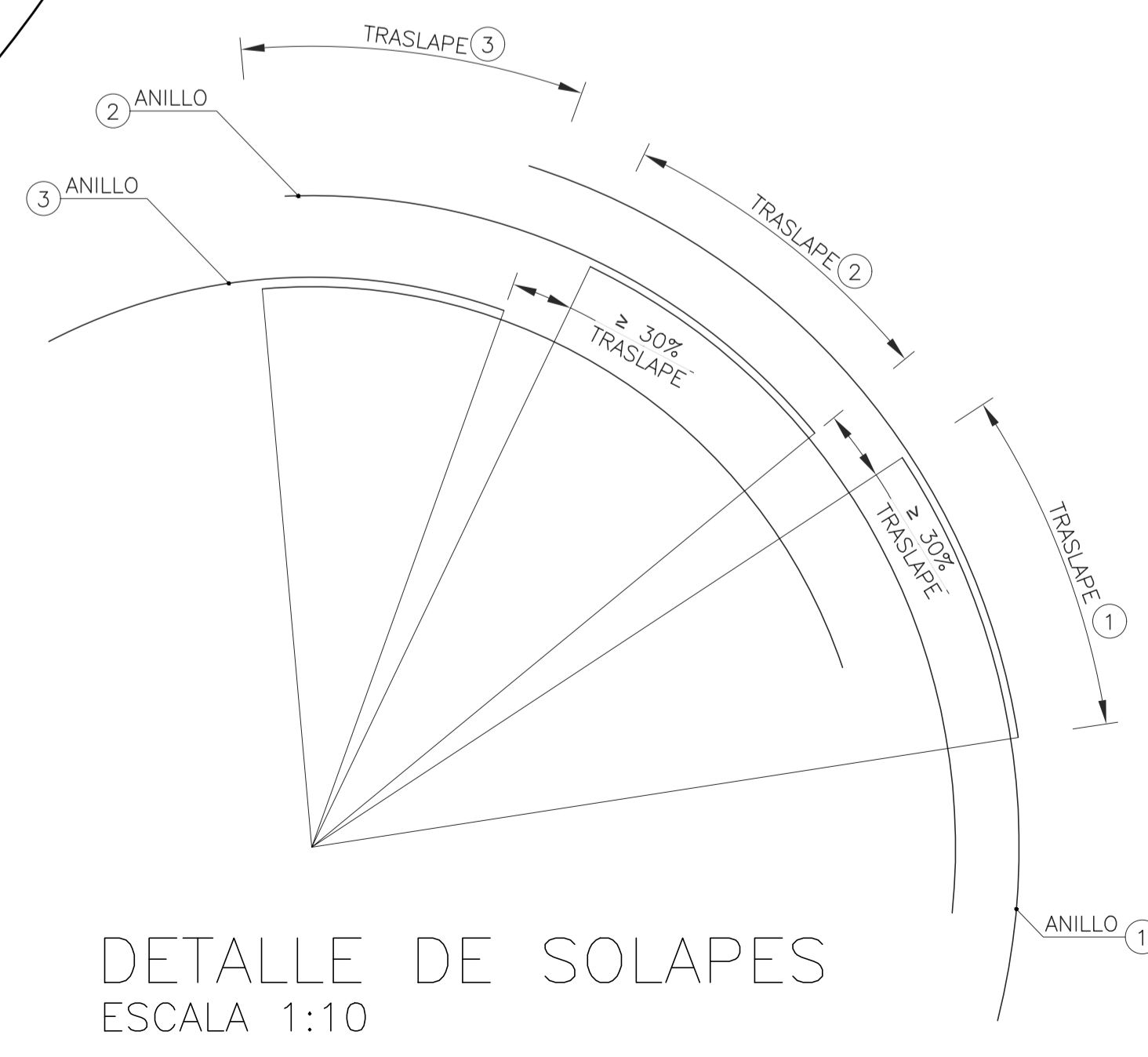
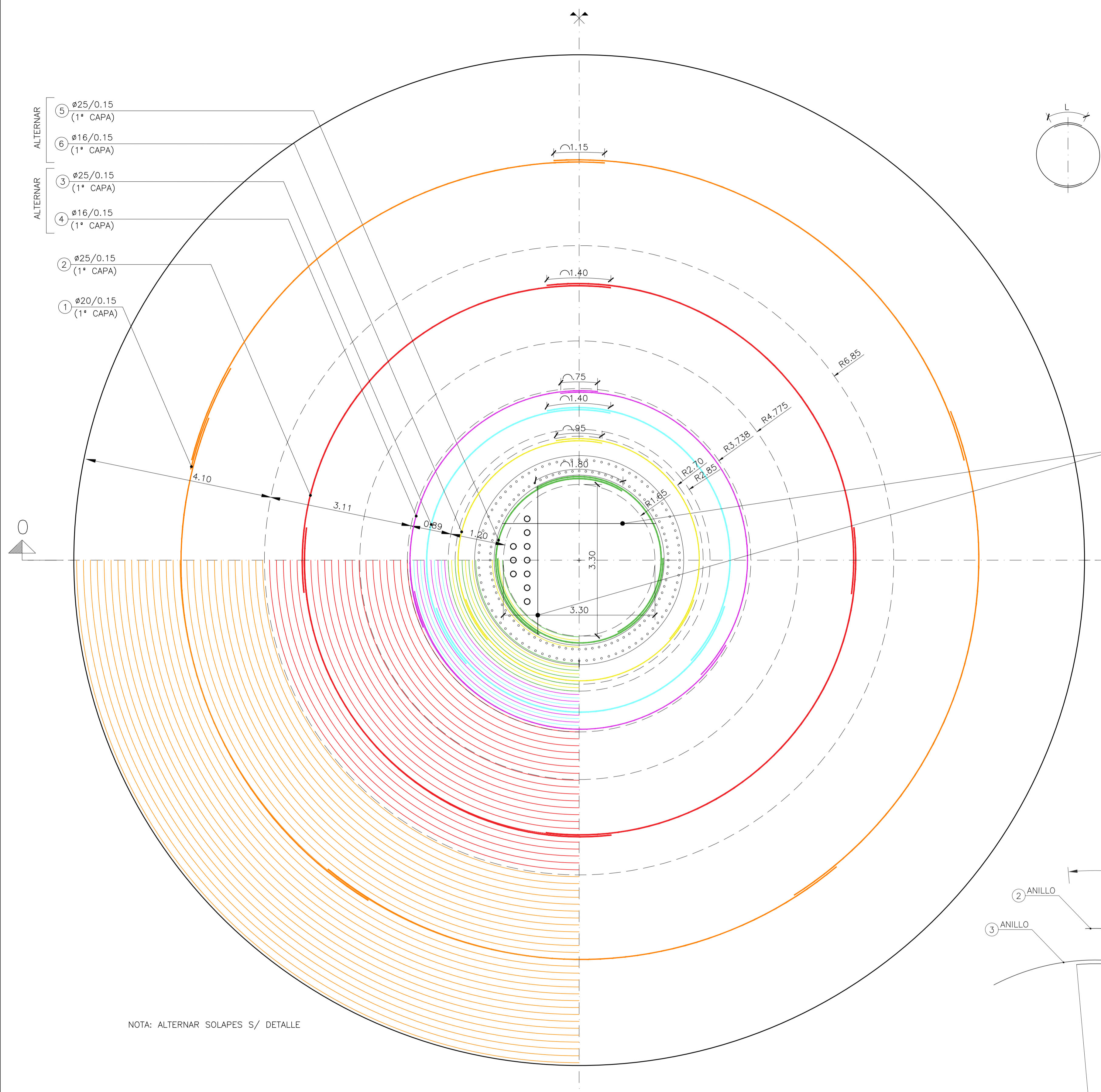
| REV. | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | FECHA | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |




ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

| PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas" | | | | | |
|--|----------|----------|----------|---|------------------------|
| PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | TÍTULO | |
| INCIAL | DV | DV | NB | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES ARMADURA CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | |
| FECHA | 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | | |
| FIRMA | | | | N° PLANO: 0-PL-0104 | REVISOR: ESCALA INDIC. |
| REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE. | | | | N° PLANO CONTRATISTA: PC-PL-104 | HOJA 2 de 8 |

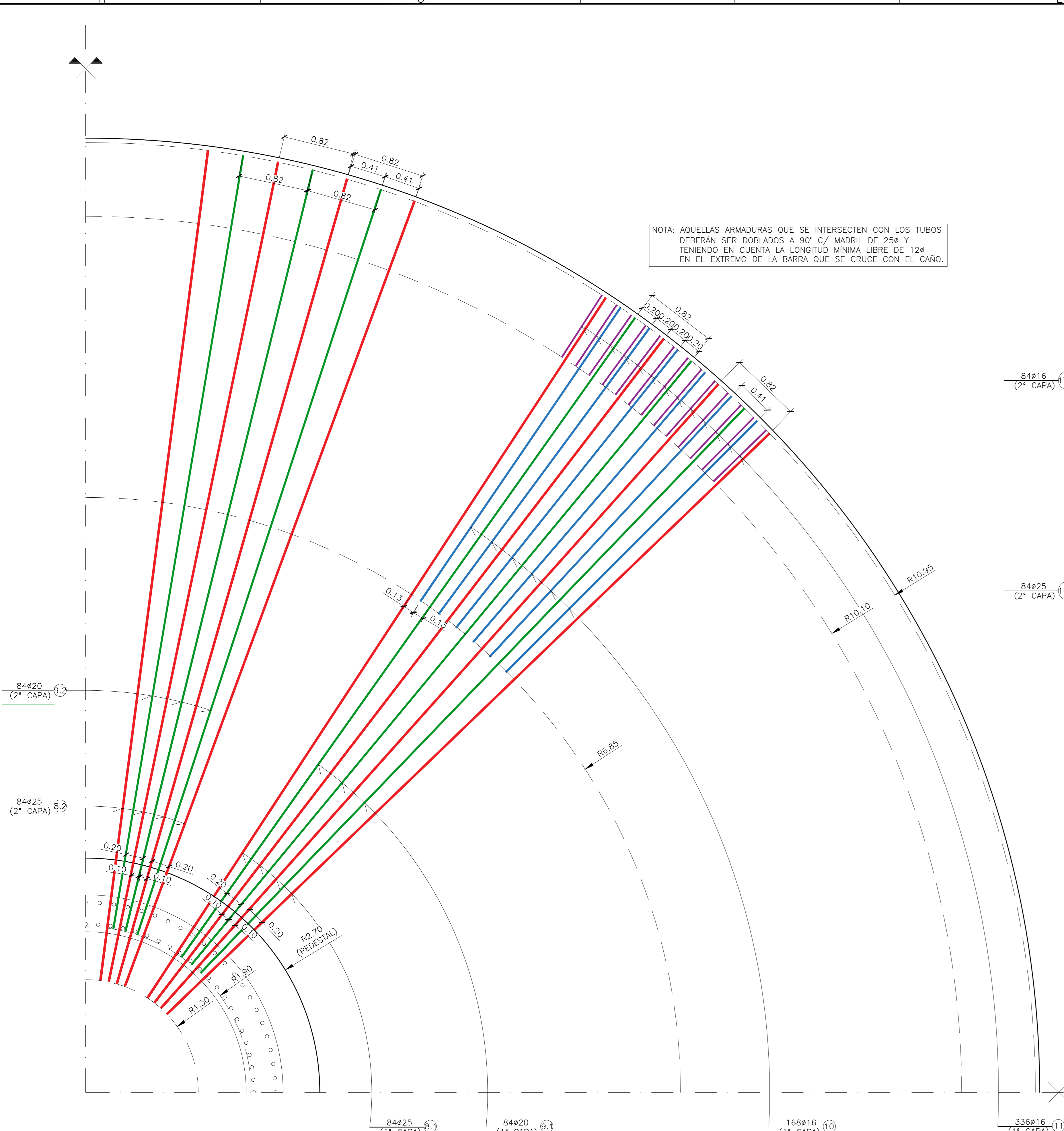
- ALTERNAR ⑤ Ø25/0.15 (1° CAPA)
- ALTERNAR ⑥ Ø16/0.15 (1° CAPA)
- ALTERNAR ③ Ø25/0.15 (1° CAPA)
- ALTERNAR ④ Ø16/0.15 (1° CAPA)
- ② Ø25/0.15 (1° CAPA)
- ① Ø20/0.15 (1° CAPA)



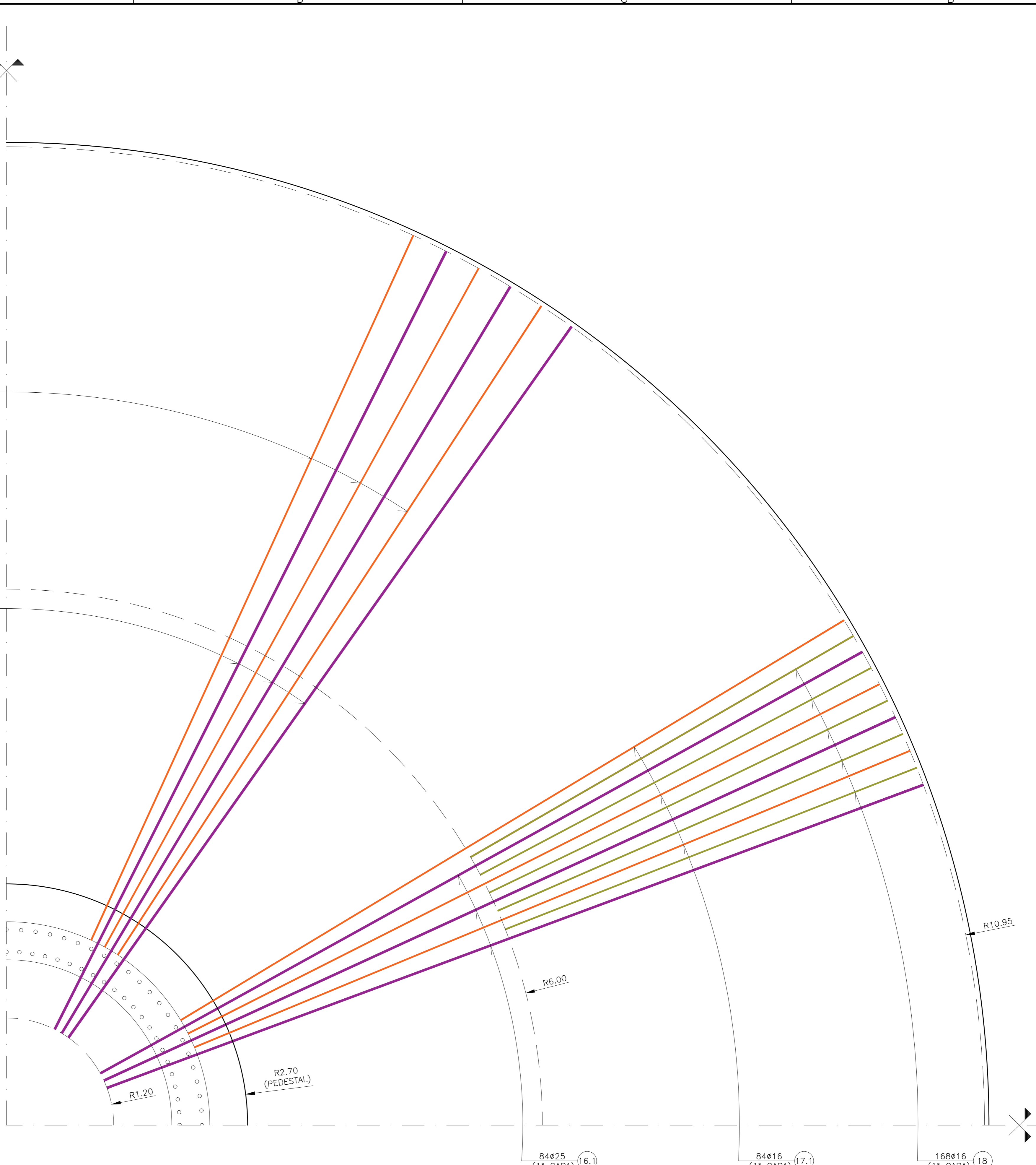
SECCIÓN 1-1 - ARMADURA CIRCUNFERENCIAL INFERIOR
 ESCALA 1:50
 *Nota: Ver sección en hoja1

DETALLE DE SOLAPES
 ESCALA 1:10

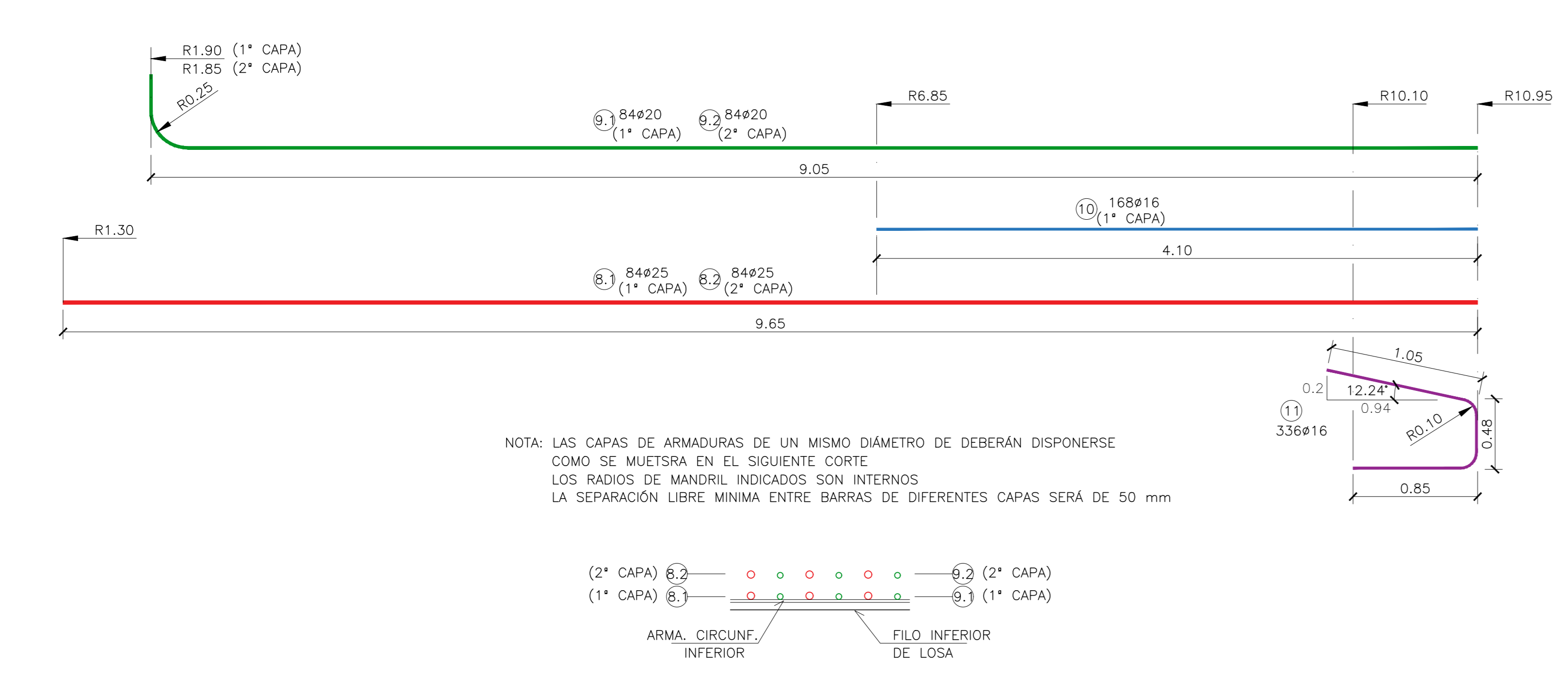
NOTA: ALTERNAR SOLAPES S/ DETALLE



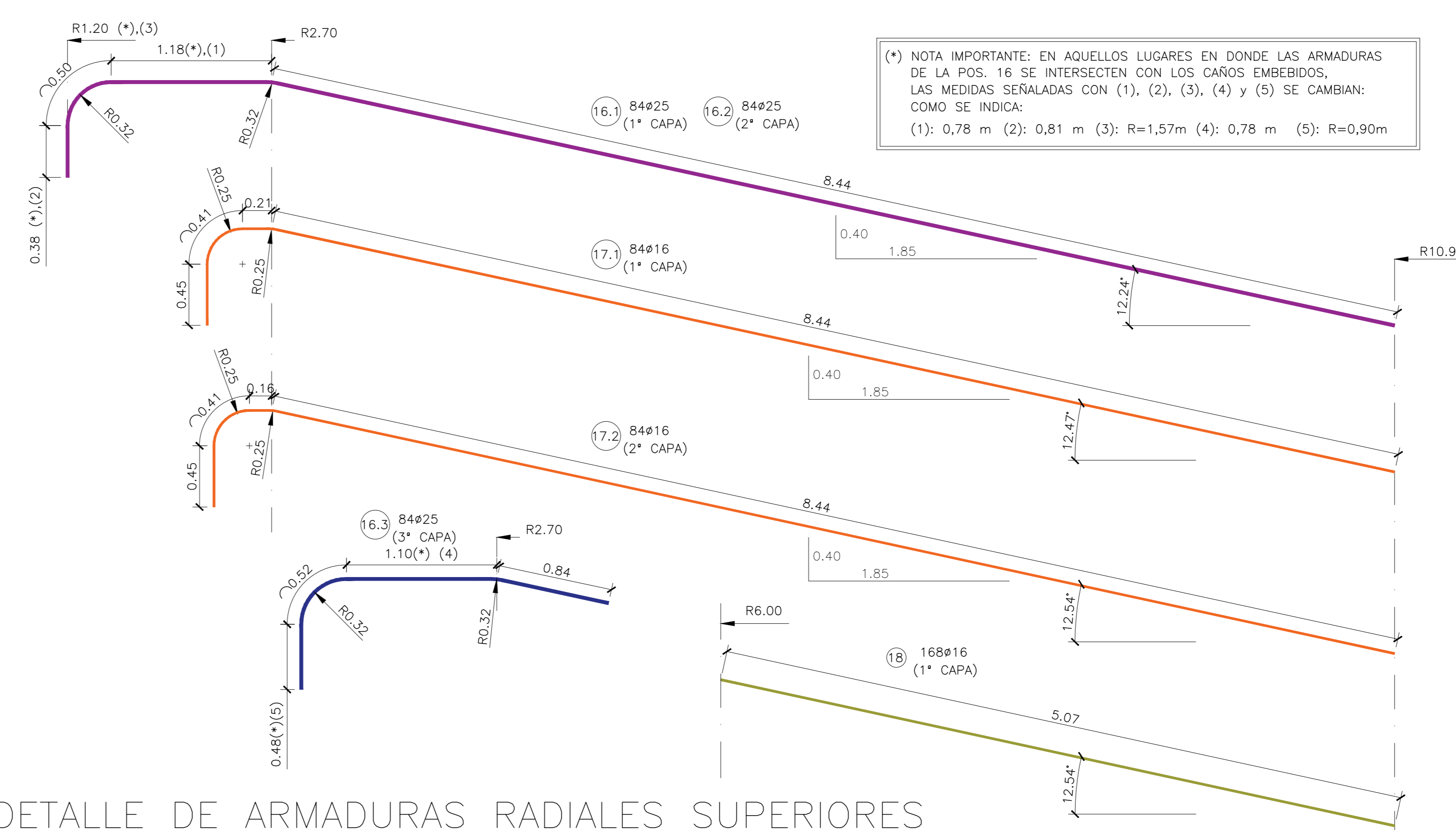
SECCIÓN 1-1 - ARMADURA RADIAL INFERIOR
ESCALA 1:50
*Nota: Ver sección en hoja1



VISTA 2-2 - ARMADURA RADIAL SUPERIOR
ESCALA 1:50
*Nota: Ver sección en hoja1



DETALLE DE ARMADURAS RADIALES INFERIORES



DETALLE DE ARMADURAS RADIALES SUPERIORES

| NOTAS | |
|-------|---|
| Nº | DESCRIPCION |
| 1 | Las medidas están en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2 | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3 | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4 | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5 | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuya resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: 4500 y 45.100 cm, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | |
|--|---------------------|
| CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRCOC 201-2005 | |
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S fy=420MPa |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H=35/A2 f'c=35 MPa |
| EN PEDESTAL | H=45/A2 f'c=45 MPa |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H=15/A2 f'c=15 MPa |
| *f'c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PRUEBAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRCOC 201-2005. | |
| GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200 | |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

| SIMBOLOGIA | |
|------------|----------------------------------|
| | INDICACION DE CORTE |
| | INDICADOR DE CAMBIOS EN REVISIÓN |
| | INDICACION DE VISTA |

| REFERENCIAS | |
|--|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCTICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1 General_Description_GeneriC_swhz_Armar_Bolt_Assembly_Contraac_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

| PLANOS RELACIONADOS | |
|---------------------|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTEAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

| PROYECTO | | FECHA | | ESTADO | |
|------------------------|--------------|----------|----------|--------|----------|
| APTO PARA CONSTRUCCIÓN | | 03/01/22 | 03/01/22 | 03 | 03 |
| REV | DENOMINACIÓN | FECHA | DEBIDO | REVISO | APROBADO |

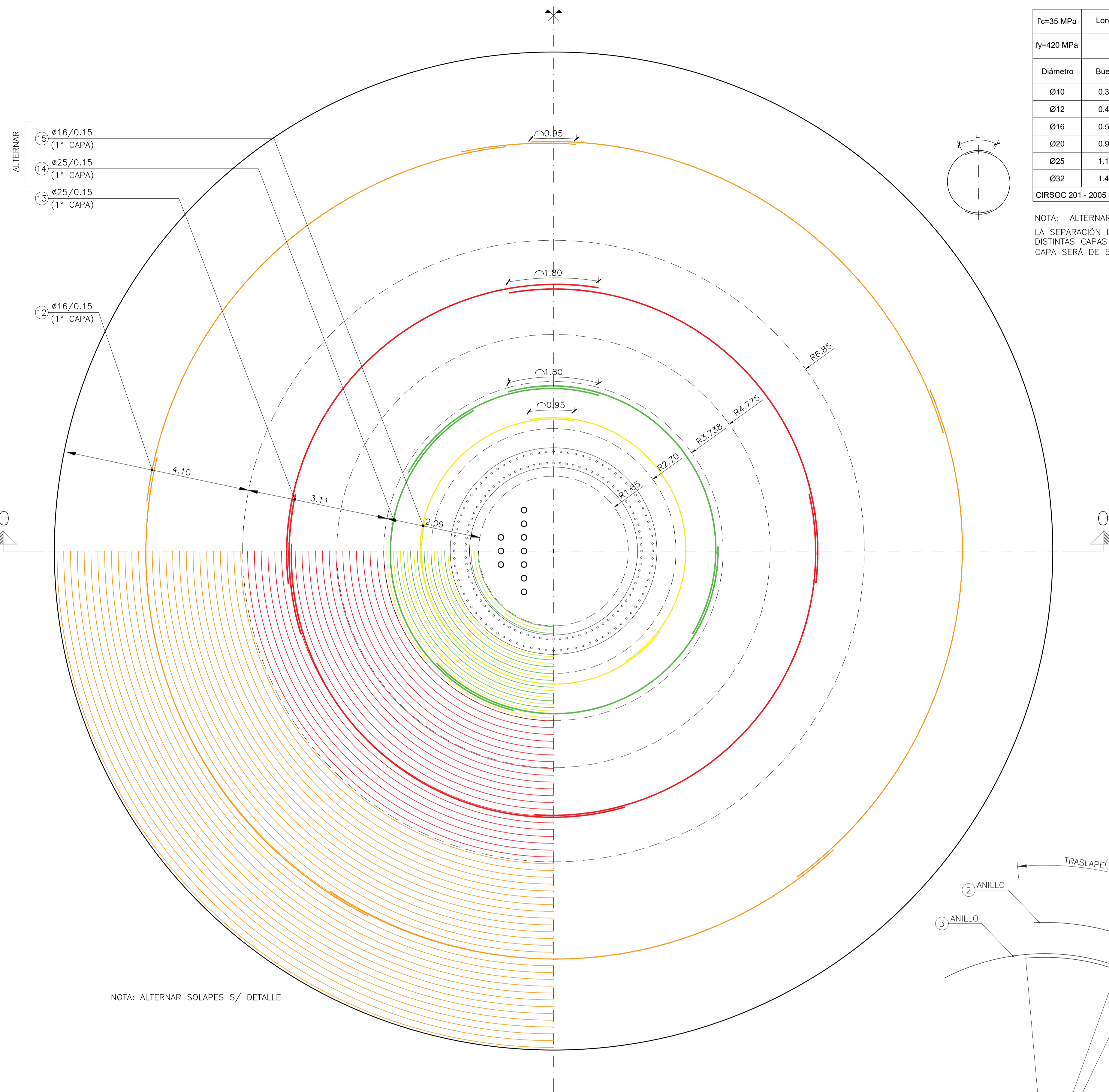
| PROYECTO | | FECHA | | ESTADO | |
|--|--|----------|----------|--------|----|
| "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas" | | 03/01/22 | 03/01/22 | 03 | 03 |

| PROYECTO | | FECHA | | ESTADO | |
|----------|----------|--------|----------|--------|----|
| PROYECTO | 03/01/22 | REVISO | 03/01/22 | ESTADO | 03 |
| PROYECTO | 03/01/22 | REVISO | 03/01/22 | ESTADO | 03 |

| PROYECTO | | FECHA | | ESTADO | |
|----------|----------|--------|----------|--------|----|
| PROYECTO | 03/01/22 | REVISO | 03/01/22 | ESTADO | 03 |

- ALTERNAR
- 15 $\varnothing 16/0.15$
(1ª CAPA)
 - 14 $\varnothing 25/0.15$
(1ª CAPA)
 - 13 $\varnothing 25/0.15$
(1ª CAPA)

- 12 $\varnothing 16/0.15$
(1ª CAPA)



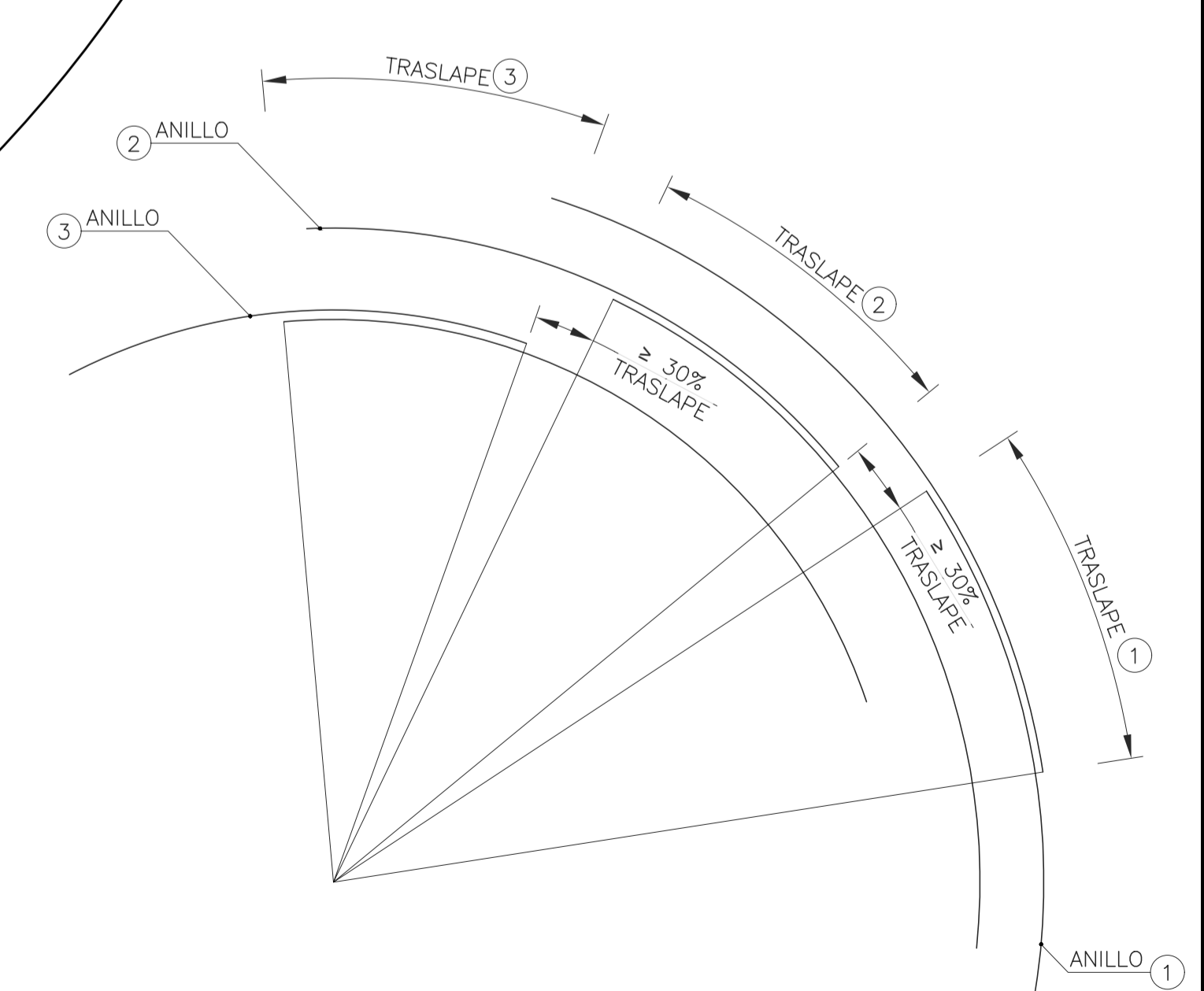
NOTA: ALTERNAR SOLAPES S/ DETALLE

VISTA 2-2 - ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR

| $f_c=35$ MPa | Longitud anclaje (m) | | Longitud solape (m) | |
|------------------|----------------------|------|---------------------|------|
| $f_y=420$ MPa | Adherencia | | Adherencia | |
| Diámetro | Buena | Mala | Buena | Mala |
| $\varnothing 10$ | 0.35 | 0.45 | 0.45 | 0.60 |
| $\varnothing 12$ | 0.45 | 0.55 | 0.55 | 0.70 |
| $\varnothing 16$ | 0.55 | 0.75 | 0.75 | 0.95 |
| $\varnothing 20$ | 0.90 | 1.11 | 1.11 | 1.45 |
| $\varnothing 25$ | 1.10 | 1.40 | 1.40 | 1.80 |
| $\varnothing 32$ | 1.40 | 1.80 | 1.80 | 2.35 |

CIRSOC 201 - 2005

NOTA: ALTERNAR SOLAPES
 LA SEPARACIÓN LIBRE MÍNIMA ENTRE BARRAS DE DISTINTAS CAPAS Y ENTRE BARRAS DE LA MISMA CAPA SERÁ DE 50 mm.



DETALLE DE SOLAPES
ESCALA 1:10

NOTAS

| Nº | DESCRIPCIÓN |
|----|--|
| 1º | Las medidas estén en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2º | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3º | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4º | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5º | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuyo resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: $d \leq 50\phi$ y $d \leq 100$ cm, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES
CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005

| | | |
|----------|----------------------|-------------------------|
| ACEROS | ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S $f_y=420$ MPa |
| HORMIGÓN | EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 $f'_c=35$ MPa |
| | EN PEDESTAL | H-45/A2 $f'_c=45$ MPa |
| | HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 $f'_c=15$ MPa |

* f'_c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005.

GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200

| | |
|-----------------------|-------|
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |
|-----------------------|-------|

SIMBOLOGIA



REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|--|---|
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCTICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1General_Description_Generic_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
|------------|---|
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

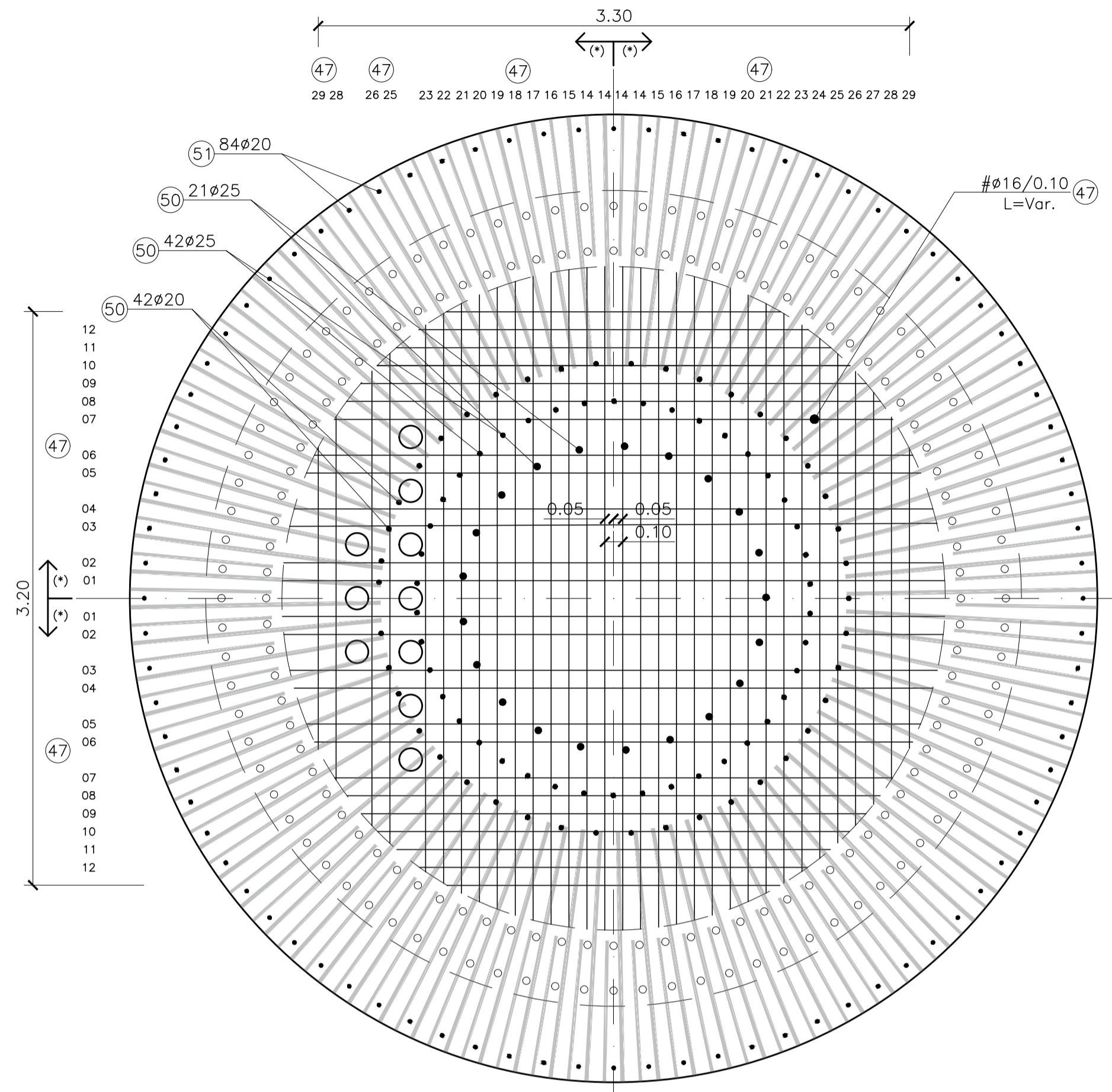
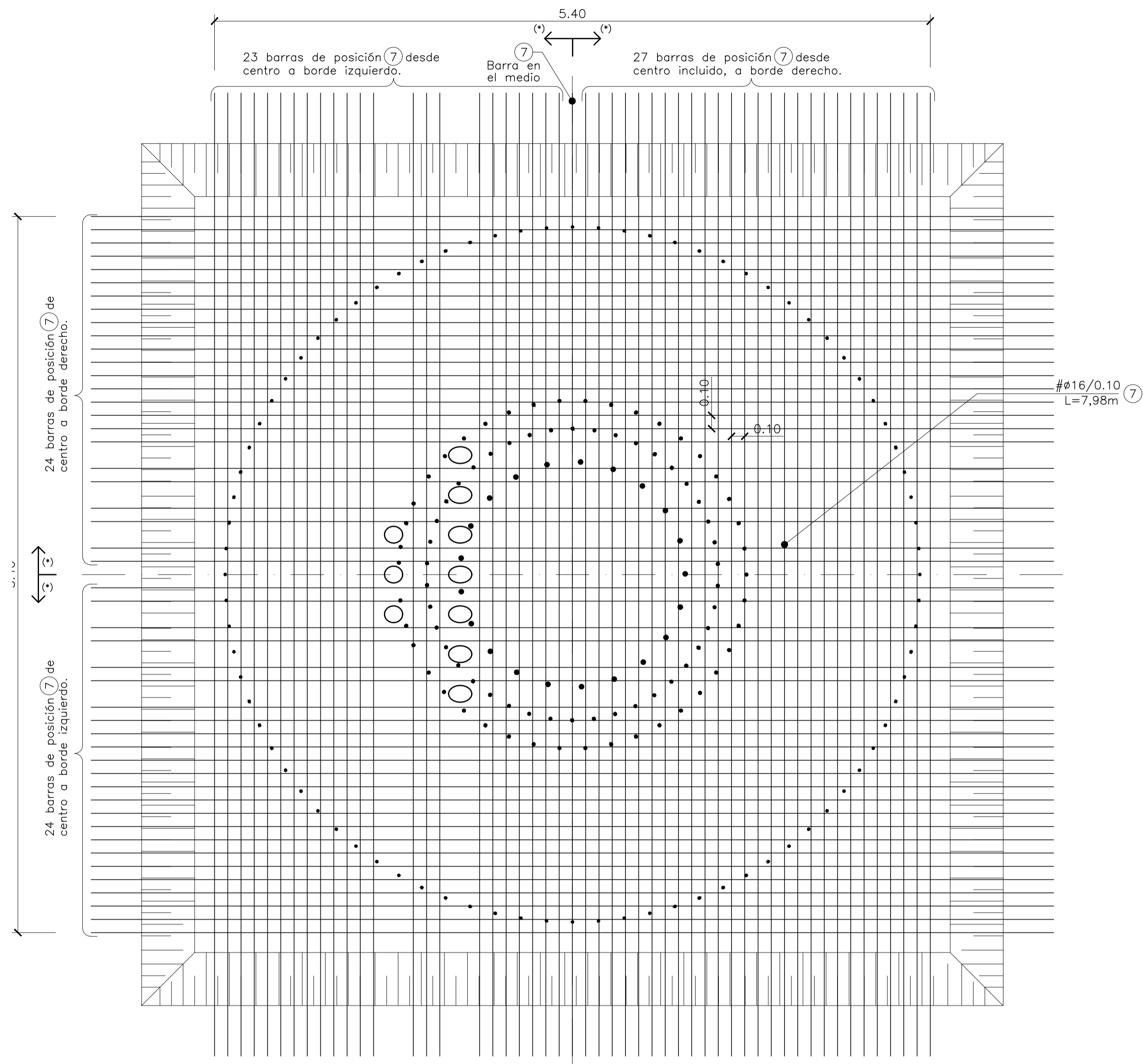
| | | | | | |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |
| REV. | DENOMINACIÓN | FECHA | DIBUJO | REVISO | APROBO |

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

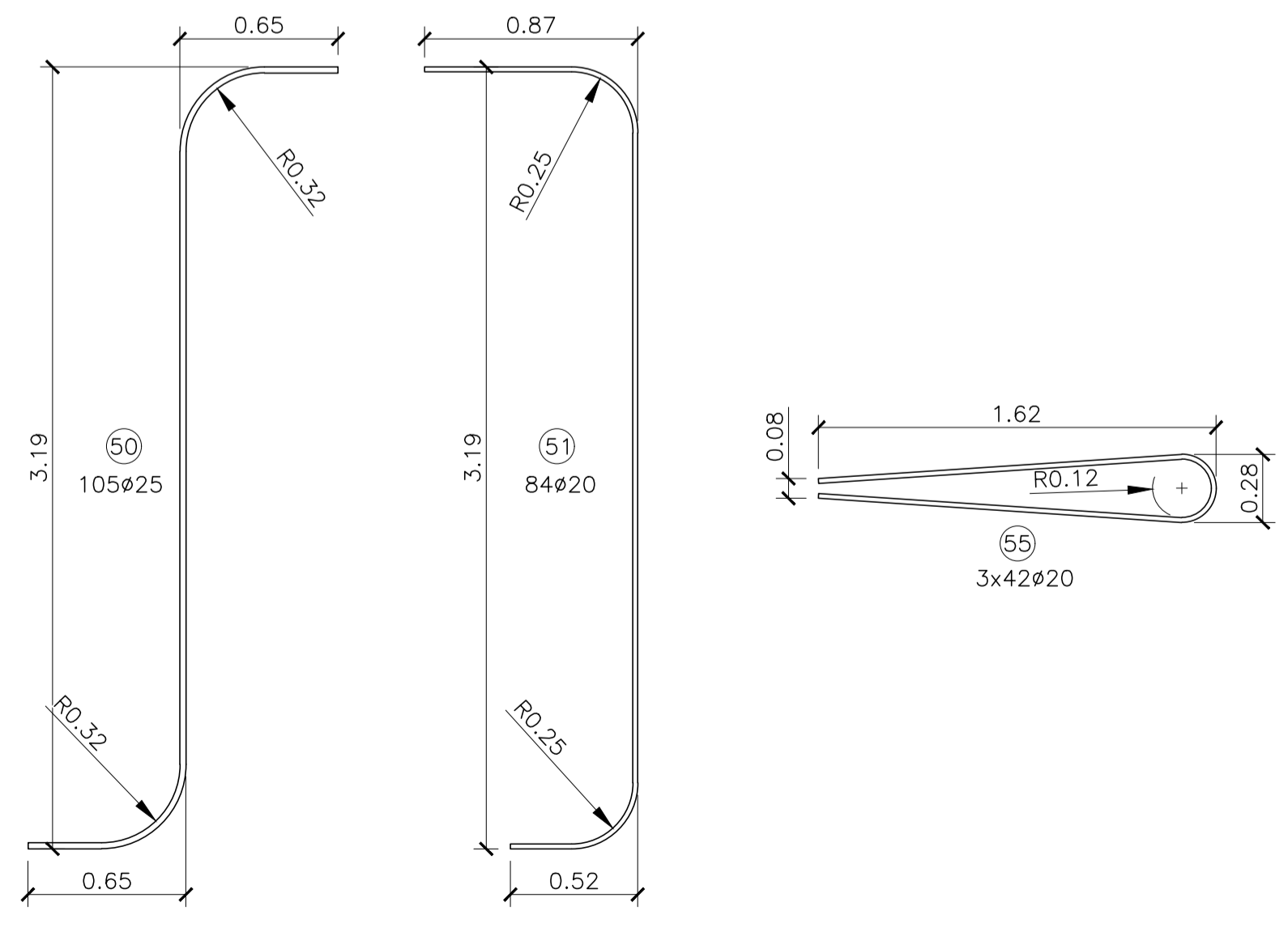
PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

| PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | TÍTULO |
|---|----------|----------|----------|---|
| INCIAL | DJV | DV | NB | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR |
| FECHA | 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | |
| FINA | | | | |
| REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE. | | | | Nº PLANO: 0-PL-0104 Nº PLANO CONTRATISTA: PC-PL-104 |

REVISOR: ESCALA INDIC. HOJA 4 de 8

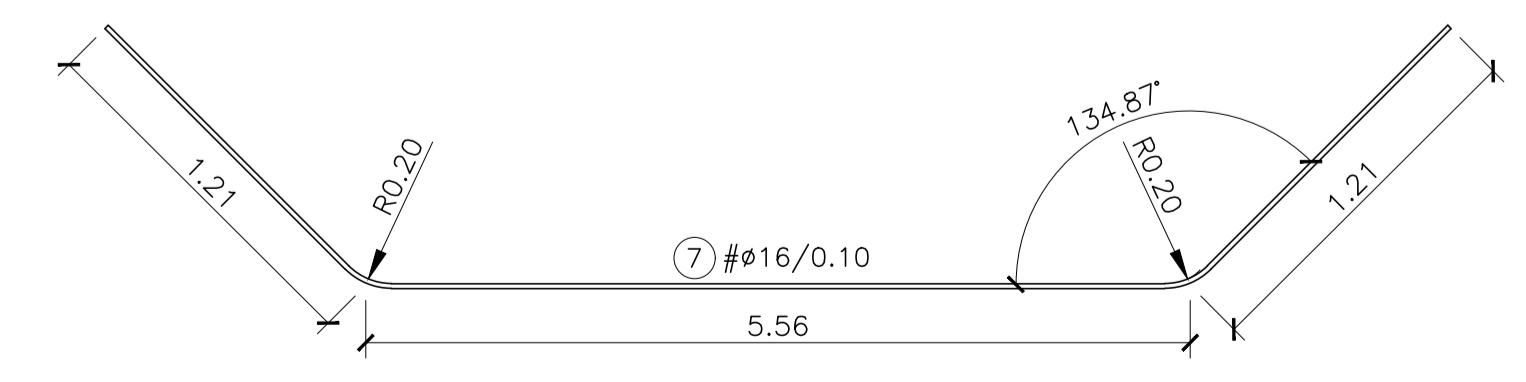


SECCIÓN 4-4
ESCALA 1:25
*Nota: Ver sección en hoja1



DETALLE POSICIONES 50, 51 Y 55
ESCALA 1:25

SECCIÓN 3-3
ESCALA 1:25
*Nota: Ver sección en hoja1



DETALLE POSICIÓN 7
ESCALA 1:25

NOTAS

| N° | DESCRIPCION |
|----|--|
| 1° | Las medidas están en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2° | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3° | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4° | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5° | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuya resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: $d \leq 50\phi$ y $d \leq 100$ cm, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | |
|---|------------------------|
| CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005 | |
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S $f_y=420MPa$ |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 $f'_c=35 MPa$ |
| EN PEDESTAL | H-45/A2 $f'_c=45 MPa$ |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 $f'_c=15 MPa$ |
| * f'_c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005. | |
| GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200 | |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

SIMBOLOGIA



REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|---|---|
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCTICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1General_Description_Generi_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

PLANOS RELACIONADOS

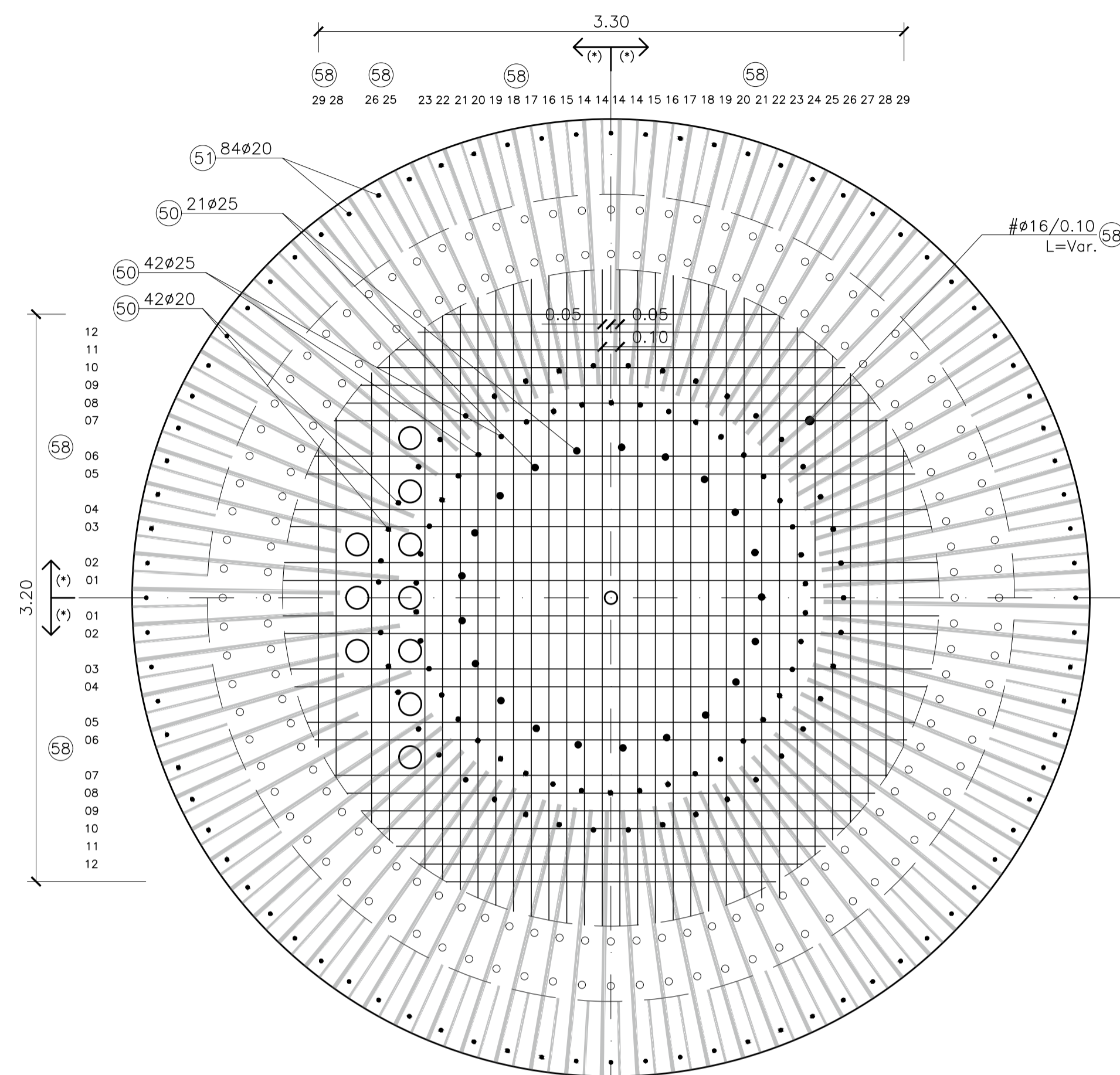
| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|---|
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

| | | | | | |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |
| REV. | DENOMINACION | FECHA | DIBUJO | REVISO | APROBO |

ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

| PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | TITULO: |
|---|-----------------------|-----------|----------|---|
| INCIAL | DV | DV | NB | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES ARMADURA EN FUSTE |
| FECHA | 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | |
| FECHA | | | | |
| FECHA | | | | |
| REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE. | N° PLANO: | 0-PL-0104 | REVISOR | ESCALA |
| | N° PLANO CONTRATISTA: | PC-PL-104 | INDIC. | HOJA 5 de 8 |

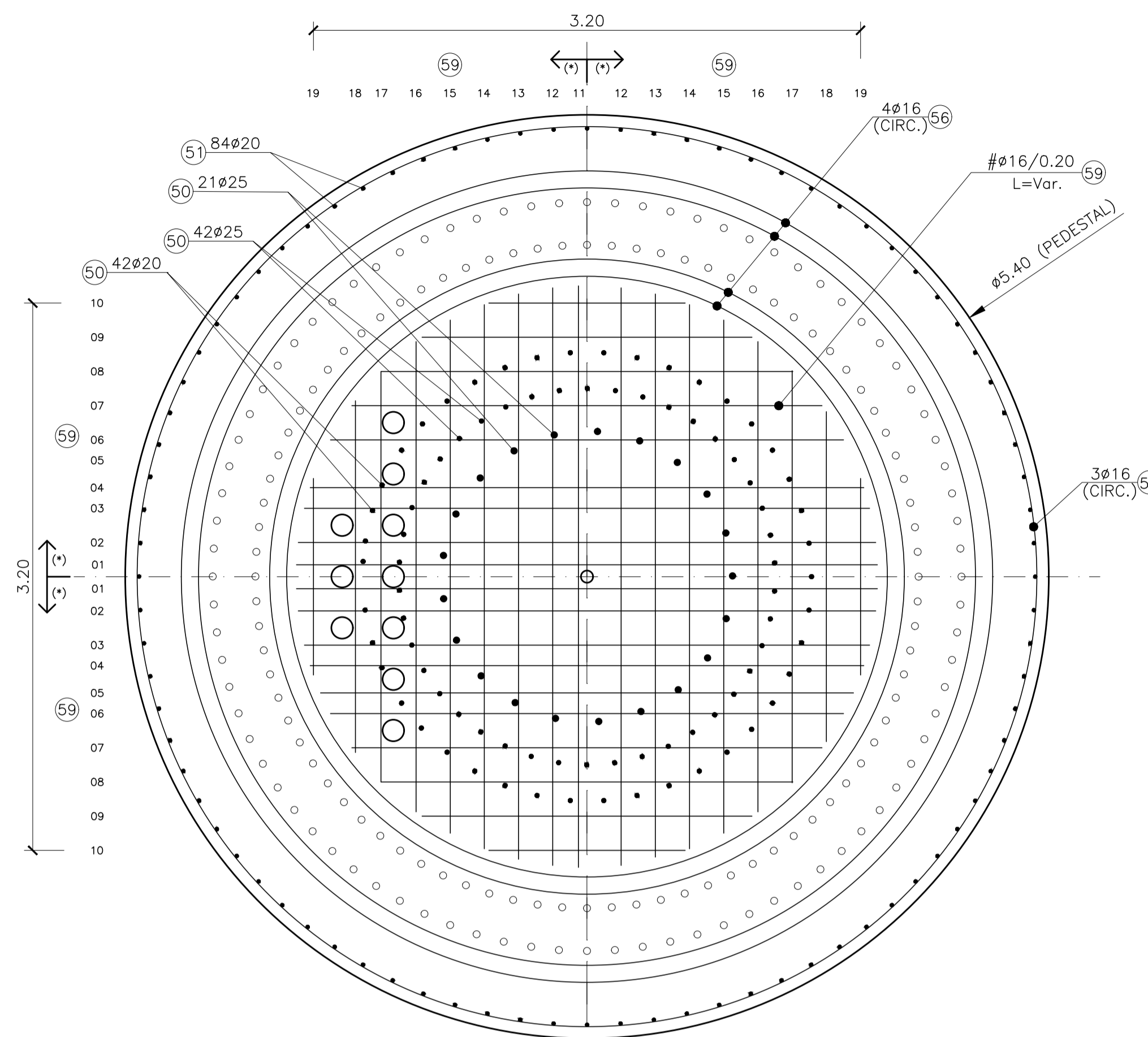


NOTA: LAS BARRAS VARIAN SU DISTRIBUCIÓN EN ALGUNAS POSICIONES PARA PERMITIR EL PASO DE LOS TUBOS.
 (*) DIRECCIÓN DE COLOCACIÓN DE LAS BARRAS. DESDE EL EJE HACIA LOS COSTADOS S/ FLECHA VER NOTA 5

SECCIÓN 5-5

ESCALA 1:25

*Nota: Ver sección en hoja1

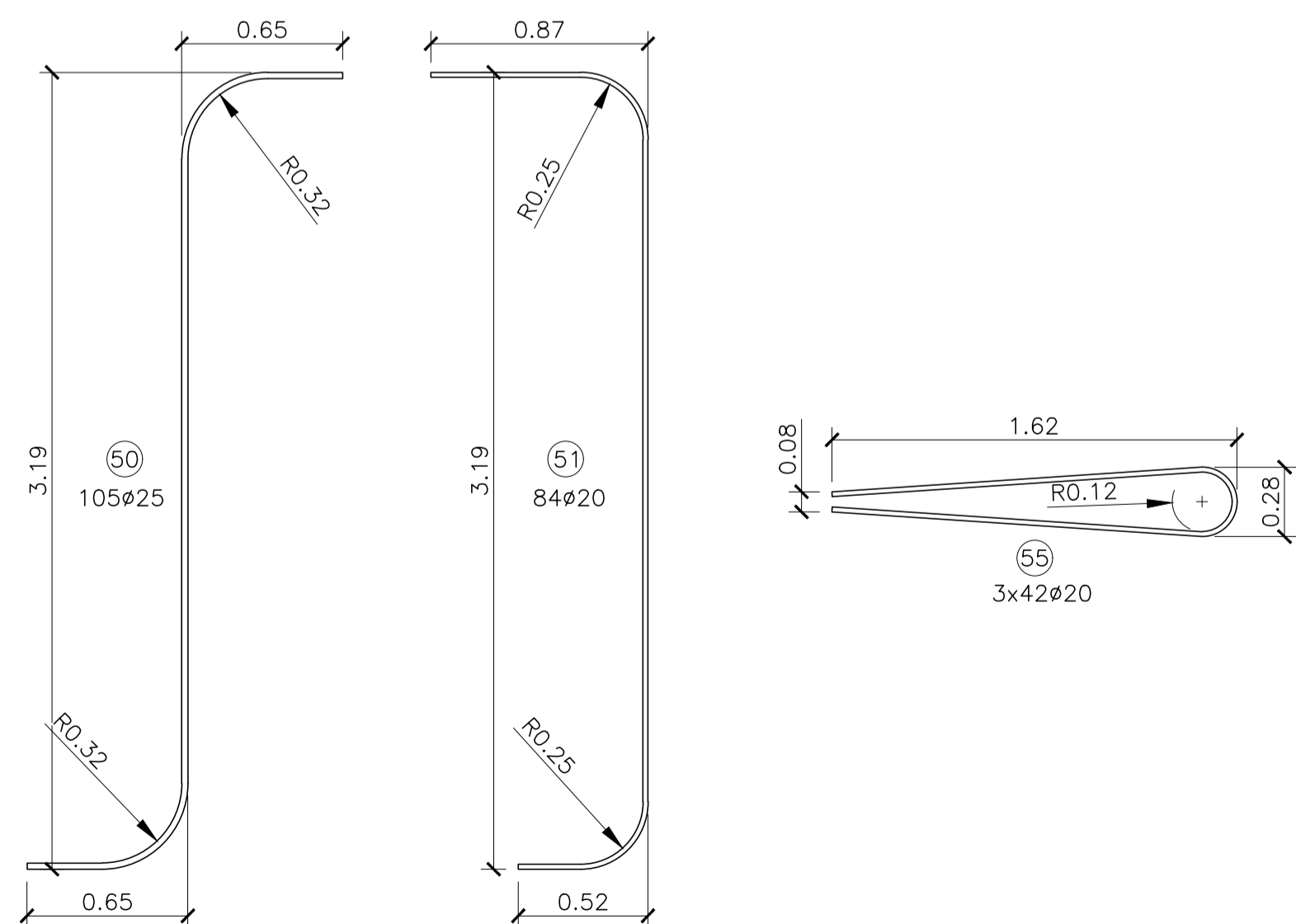


NOTA: LAS BARRAS VARIAN SU DISTRIBUCIÓN EN ALGUNAS POSICIONES PARA PERMITIR EL PASO DE LOS TUBOS.
 (*) DIRECCIÓN DE COLOCACIÓN DE LAS BARRAS. DESDE EL EJE HACIA LOS COSTADOS S/ FLECHA VER NOTA 5

SECCIÓN 6-6

ESCALA 1:25

*Nota: Ver sección en hoja1



DETALLE POSICIONES 50, 51 Y 55
 ESCALA 1:25

NOTAS

| N° | DESCRIPCION |
|----|--|
| 1° | Las medidas están en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2° | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3° | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4° | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5° | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuya resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: $d \leq 50\phi$ y $d \leq 100$ cm, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005

| | |
|---|------------------------|
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S $f_y=420MPa$ |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 $f'_c=35 MPa$ |
| EN PEDESTAL | H-45/A2 $f'_c=45 MPa$ |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 $f'_c=15 MPa$ |
| * f'_c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005. | |
| GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200 | |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

SIMBOLOGIA

| | | | |
|--|---------------------|--|----------------------------------|
| | INDICACIÓN DE CORTE | | INDICADOR DE CAMBIOS EN REVISIÓN |
| | INDICACIÓN DE VISTA | | |

REFERENCIAS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|---|---|
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCTICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1General_Description_Generi_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

PLANOS RELACIONADOS

| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
|------------|---|
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERIAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

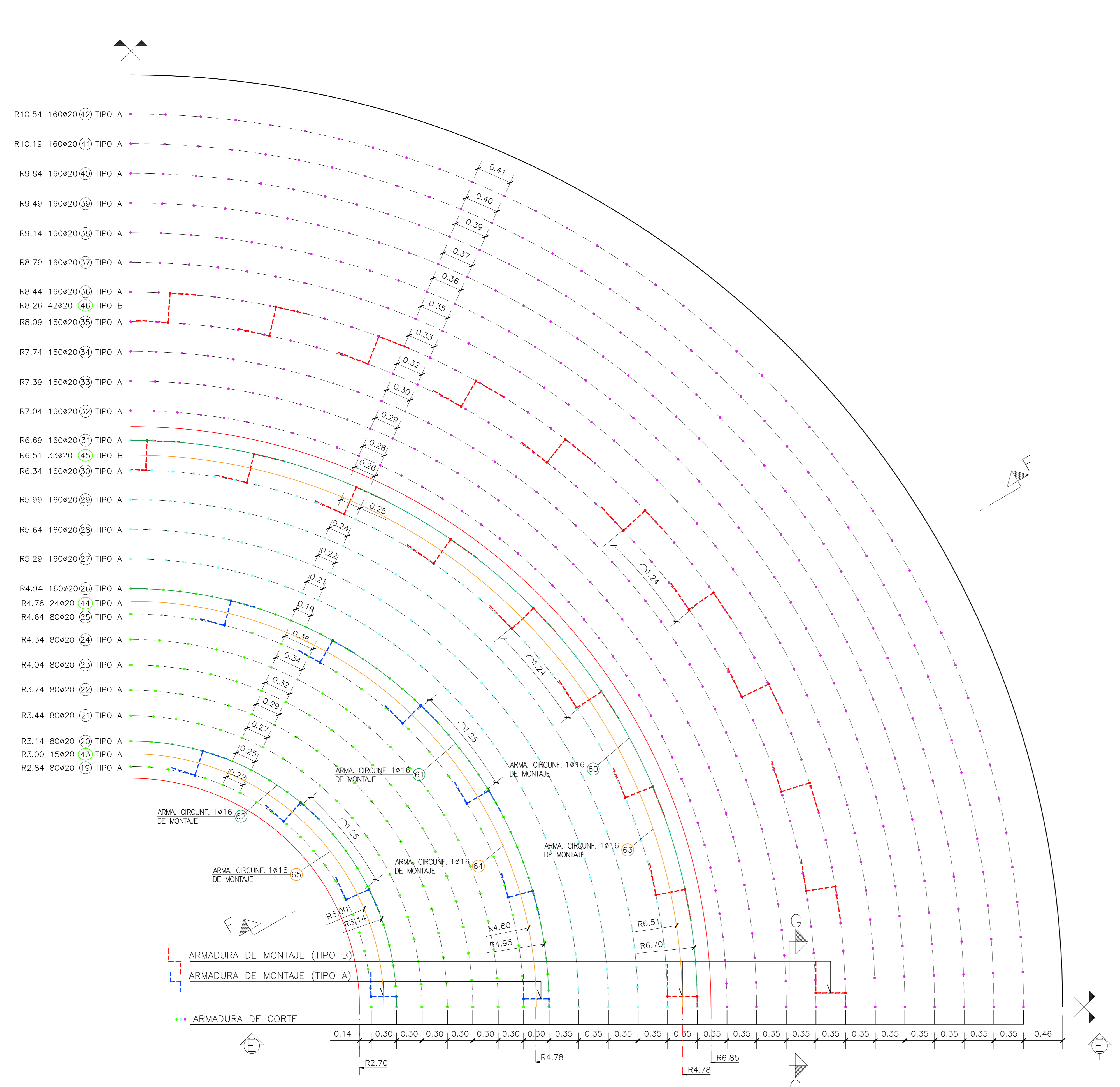
| | | | | | |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |
| REV. | DENOMINACION | FECHA | DIBUJO | REVISO | APROBO |



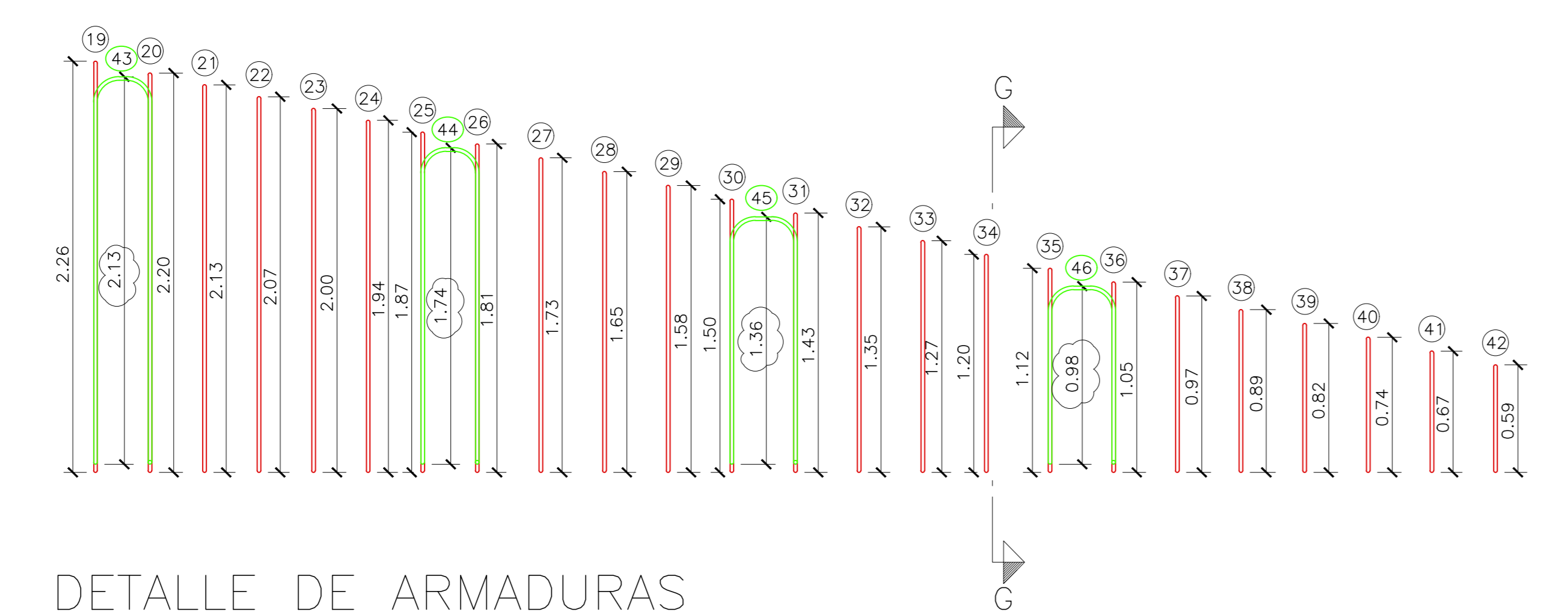
ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
 PROYECTO FINAL DE CARRERA

PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"

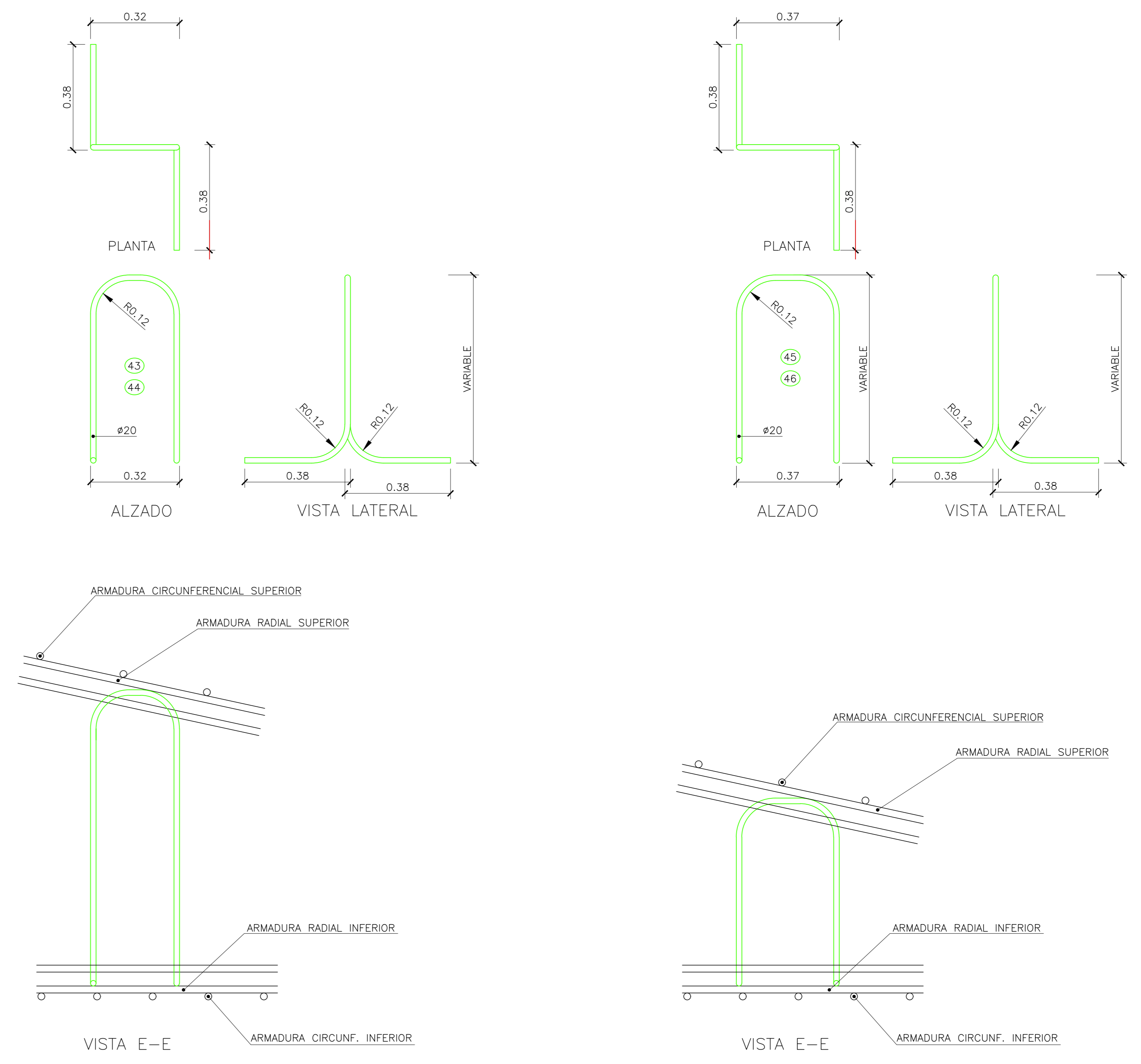
| PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | TITULO: |
|---|----------|----------|----------|---|
| INCIAL | DV | DV | NB | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES ARMADURA EN FUSTE |
| FECHA | 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | |
| FINA | | | | |
| REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE. | | | | N° PLANO: 0-PL-0104 |
| | | | | N° PLANO CONTRATISTA: PC-PL-104 |
| | | | | ESCALA INDIC. HOJA 6 de 8 |



VISTA 2-2 - ARMADURA DE CORTE Y MONTAJE
 ESCALA 1:25
 *Nota: Ver sección en hoja 1

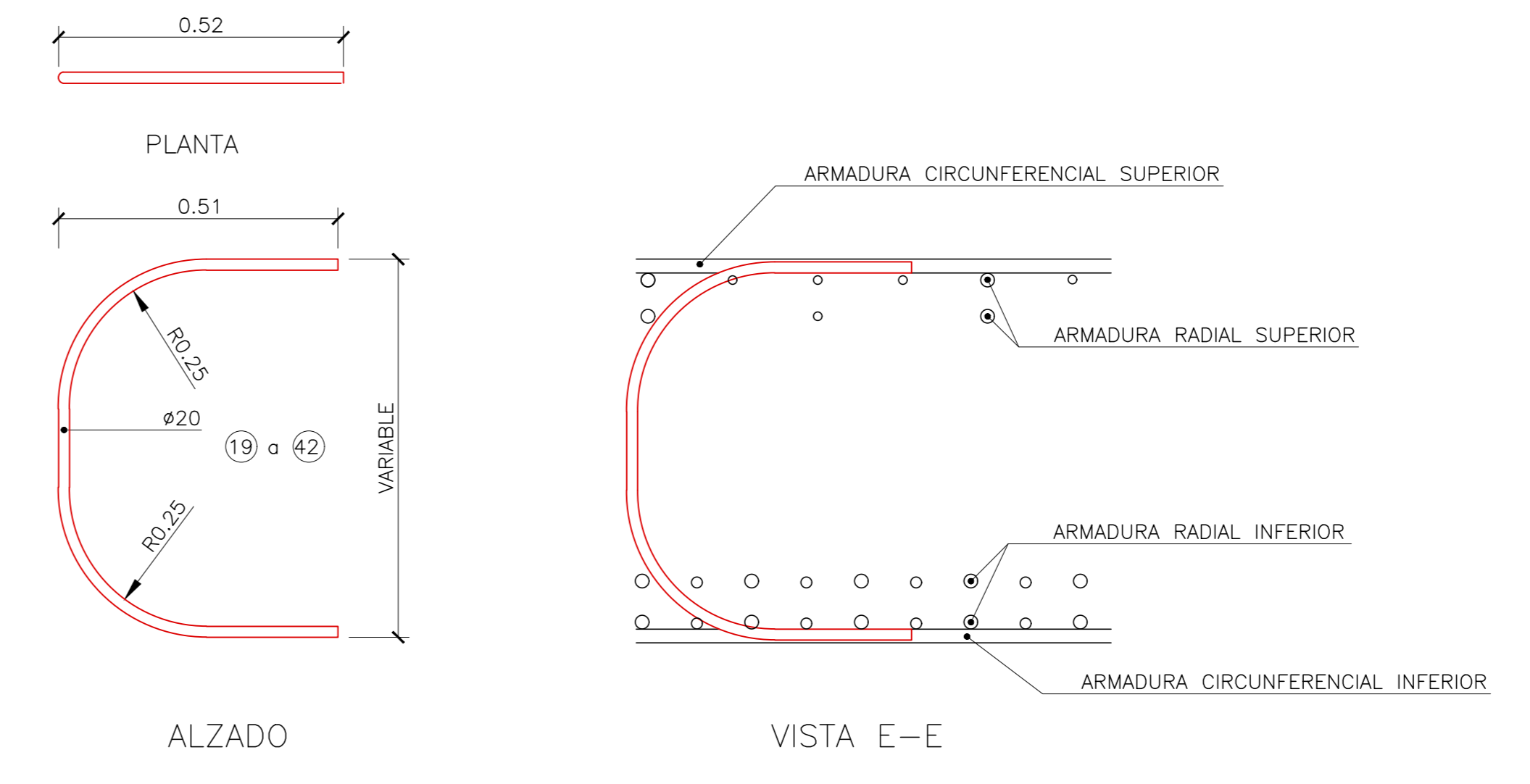


DETALLE DE ARMADURAS
 SECCIÓN F-F
 ESCALA 1:25



ESQUEMA ARMADURA DE MONTAJE
 (TIPO A)
 ESCALA 1:10

ESQUEMA ARMADURA DE MONTAJE
 (TIPO B)
 ESCALA 1:10



ESQUEMA ARMADURAS DE CORTE
 ESCALA 1:25

| NOTAS | |
|-------|--|
| Nº | DESCRIPCIÓN |
| 1 | Las medidas están en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2 | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3 | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4 | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5 | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuya resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: $45d$ y 45.100 cm, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | |
|---|------------------------|
| CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRCOC 201-2005 | |
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S $f_y=420MPa$ |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H=35/A2 $f'c=35 MPa$ |
| EN PEDESTAL | H=45/A2 $f'c=45 MPa$ |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H=15/A2 $f'c=15 MPa$ |
| * $f'c$ BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PRUEBAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRCOC 201-2005. | |
| GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200 | |
| RECUBRIMIENTO GENERAL | 50 mm |

| SIMBOLOGÍA | |
|------------|----------------------------------|
| | INDICACIÓN DE CORTE |
| | INDICADOR DE CAMBIOS EN REVISIÓN |
| | INDICACIÓN DE VISTA |

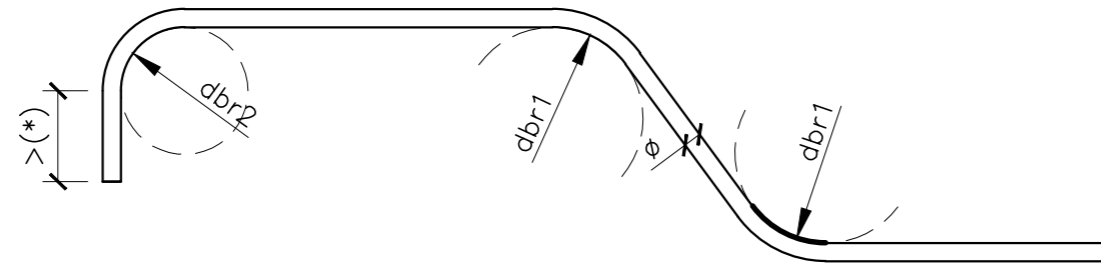
| REFERENCIAS | |
|--|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCTICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1 General_Description_Generc | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |
| 6.1.1.1 Anular_Bolt_Assembly_Contraac_EN_r02 | |

| PLANOS RELACIONADOS | |
|---------------------|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCIÓN |
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

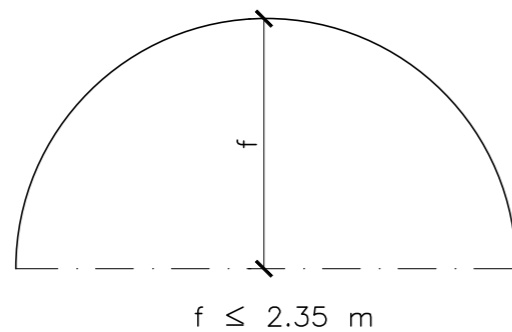
| REVISIÓN | | FECHA | | DIBUJO | | REVISÓ | | APROBÓ | |
|----------|------------------------|----------|--------|--------|--------|--------|--|--------|--|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB | | | | |
| REV | DESIGNACIÓN | FECHA | DIBUJO | REVISÓ | APROBÓ | | | | |

| | | | |
|--|---|---|-------------|
| | | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA | |
| PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas" | | | |
| PROYECTO | DISEÑO | REVISÓ | APROBÓ |
| INCL | DV | DV | NB |
| FECHA | 03/01/22 | 03/01/22 | 03/01/22 |
| TÍTULO: | PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES ARMADURA DE CORTE Y MONTAJE | | |
| Nº PLANO: | CI-PL-0104 | REGION: | ESCALA |
| Nº PLANO CONTRATISTA: | PC-PL-1004 | INDIC. | HOJA 7 de 8 |
| ELABORÓ EN AUTOCAD: NO MODIFICAR MANUENTE | | | |

| DIÁMETRO MÍNIMO DE LOS MANDRILES | | | | |
|---|-----------|---|-----------|---|
| $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ | | | | |
| GANCHOS, PATILLAS Y GANCHO EN U | | BARRAS DOBLADAS Y OTRAS BARRAS CURVADAS | | BARRAS CURVADAS (POR RAZONES DE FATIGA) |
| ϕ | dbr2 | ϕ | dbr1 | dbr1 |
| $\leq 25\text{mm}$ | 12 ϕ | $\leq 25\text{mm}$ | 12 ϕ | 25 ϕ |
| $> 25\text{mm}$ | 14 ϕ | $> 25\text{mm}$ | 14 ϕ | |
| ÁNGULOS DE DOBLADO Y PROLONGACIONES MÍNIMAS EN LOS EXTREMOS LIBRES DE LAS BARRAS O ALAMBRES | | | | |
| $f_y = 420 \text{ N/mm}^2$ | | | | |
| DIÁMETRO DE LA BARRA (mm) dbe | | ÁNGULO DE DOBLADO | | (*) PROLONGACIÓN MIN. EN EXTREMO LIBRE |
| dbe ≤ 16 | | 90° | | 6 dbe |
| 16 < dbe ≤ 25 | | 90° | | 12 dbe |
| dbe ≤ 25 | | 135° | | 6 dbe |



NOTA:
- SE DEBERÁ PRESTAR ESPECIAL ATENCIÓN AL DIÁMETRO DE DOBLADO DEBIDO A RAZONES DE FATIGA.



NOTA:
-POR RAZONES DE TRANSPORTE SE HA LIMITADO LA FLECHA DE LAS BARRAS CIRCUNFERENCIALES A 2.35 m

| CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES | |
|---|-----------------------------------|
| CALIDAD DE LOS MATERIALES S/ CIRSOC 201-2005 | |
| ACEROS | |
| ACERO DE REFUERZO | ADN 420 S $f_y = 420 \text{ MPa}$ |
| HORMIGÓN | |
| EN CIMENTACIÓN | H-35/A2 $f'_c = 35 \text{ MPa}$ |
| EN PEDESTAL | H-45/A2 $f'_c = 45 \text{ MPa}$ |
| HORMIGÓN DE LIMPIEZA | H-15/A2 $f'_c = 15 \text{ MPa}$ |
| * f'_c BASADO EN LA RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PROBETAS CILÍNDRICAS A LOS 28 DÍAS ESPECIFICADA EN CIRSOC 201-2005. | |
| GROUT: MARCA BASF MASTERFLOW 9200 | |
| RECUBRIMIENTO | |
| GENERAL | 50 mm |

| NOTAS | |
|-------|--|
| N° | DESCRIPCION |
| 1° | Las medidas están en metros [m] salvo que se indique lo contrario. |
| 2° | Estas armaduras son válidas para todas las fundaciones del PE. |
| 3° | Prestar especial atención a los traslapes de empalmes en las armaduras circunferenciales. Ver con detenimiento en DETALLE DE SOLAPES. |
| 4° | Dejar los espacios necesarios entre armaduras para el correcto acceso y vibrado del hormigón. |
| 5° | Los recubrimientos mínimos de 50 mm cuando se encofre, se garantizarán mediante separadores de PVC o de hormigón cuya resistencia sea igual o superior a la especificada por el hormigón de la FUNDACIÓN. La distancia d entre los separadores será la menor entre los siguientes valores: $d \leq 50\phi$ y $d \leq 100 \text{ cm}$, dependiendo del hormigón que se haya considerado. Todo ello de acuerdo a la normativa vigente. |

| SIMBOLOGIA | |
|------------|----------------------------------|
| | INDICACIÓN DE CORTE |
| | INDICADOR DE CAMBIOS EN REVISIÓN |
| | INDICACIÓN DE VISTA |

| REFERENCIAS | |
|---|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
| CI-MC-0001 | MEMORIA DE CÁLCULO DE LAS FUNDACIONES |
| CI-PR-0001 | PROCEDIMIENTO DE HORMIGONADO DE FUNDACIONES |
| CI-ET-0001 | ESPECIFICACIONES DE ENSAYO DE CALIDAD DE MATERIALES |
| CI-ET-0002 | ESP. TCA. PARA LA INSPECCIÓN GEOTÉCNICA DEL FONDO DE LA CIMENTACIÓN |
| FOUNDATION_LOAD_DRAWING | ESPECIFICACIONES DE CARGAS |
| 6.1 General_Description_Generic_xxHz_Anchor_Bolt_Assembly_Contrdoc_EN_r02 | MONTAJE DE JAULA DE PERNOS |

| PLANOS RELACIONADOS | |
|---------------------|---|
| DOCUMENTO | DESCRIPCION |
| CI-PL-0100 | PLANO DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0101 | PLANO DE NOTAS DE FUNDACIONES |
| CI-PL-0102 | PLANO DE DETALLES FUNDACIONES |
| CI-PL-0103 | PLANO DE CAÑERÍAS EMBEBIDAS |
| CI-PL-0107 | PLANO DE FABRICACIÓN DE PATAS PARA POSICIONAMIENTO DE JAULA DE PERNOS |
| EL-PL-0500 | PLANO DE MONTAJE MALLA PAT |
| EL-PL-0505 | PLANO DE DETALLE ACOMETIDAS A AEROGENERADORES |
| - | PLANO DE JAULA DE PERNOS |
| CI-LH-0001 | PLANILLA DOBLADO ARMADURAS FUNDACION TIPO 1 |
| CI-LH-0002 | PLANILLA DOBLADO ARMA. ADICIONAL DE MONTAJE TIPO 1 |

| REV. | DENOMINACION | FECHA | DIBUJO | REVISO | APROBO |
|------|------------------------|----------|--------|--------|--------|
| 0 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | 03/01/22 | DV | DV | NB |

| | | ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL PROYECTO FINAL DE CARRERA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|------------|--|-------------|--------|------------|----|----|----|----------------|----------|----------|----------|-------|--|--|--|---|---|-----------|------------|----------|--------|-----------------------|-----------|--------|-------------|
| PROYECTO: "Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas" | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>PROYECTO</th> <th>DIBUJO</th> <th>REVISO</th> <th>APROBO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>INICIAL DV</td> <td>DV</td> <td>NB</td> <td>NB</td> </tr> <tr> <td>FECHA 06/01/22</td> <td>06/01/22</td> <td>06/01/22</td> <td>06/01/22</td> </tr> <tr> <td>FIRMA</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | INICIAL DV | DV | NB | NB | FECHA 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | FIRMA | | | | TÍTULO: PLANO DE ARMADURAS DE FUNDACIONES REQUERIMIENTOS MÍNIMOS PARA EL DOBLADO DE ARMADURAS | <table border="1"> <tr> <td>N° PLANO:</td> <td>CI-PL-0104</td> <td>REVISIÓN</td> <td>ESCALA</td> </tr> <tr> <td>N° PLANO CONTRATISTA:</td> <td>PC-PL-104</td> <td>INDIC.</td> <td>HOJA 8 de 8</td> </tr> </table> | N° PLANO: | CI-PL-0104 | REVISIÓN | ESCALA | N° PLANO CONTRATISTA: | PC-PL-104 | INDIC. | HOJA 8 de 8 |
| PROYECTO | DIBUJO | REVISO | APROBO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| INICIAL DV | DV | NB | NB | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FECHA 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | 06/01/22 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| FIRMA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° PLANO: | CI-PL-0104 | REVISIÓN | ESCALA | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| N° PLANO CONTRATISTA: | PC-PL-104 | INDIC. | HOJA 8 de 8 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| REALIZADO EN AUTOCAD. NO MODIFICAR MANUALMENTE. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore
con Torres Metálicas"

PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



**Planilla de Doblado de Armaduras de las Fundaciones
CI-LH-001**

| REVISIÓN | FECHA | DESCRIPCIÓN | PREPARÓ | REVISÓ | APROBÓ |
|----------|------------|------------------------|---------|--------|--------|
| 1 | 30/03/2022 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | D.V | N.B. | N.B. |
| 0 | 09/01/2022 | APTO PARA CONSTRUCCIÓN | D.V | N.B. | N.B. |



ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore
con Torres Metálicas"

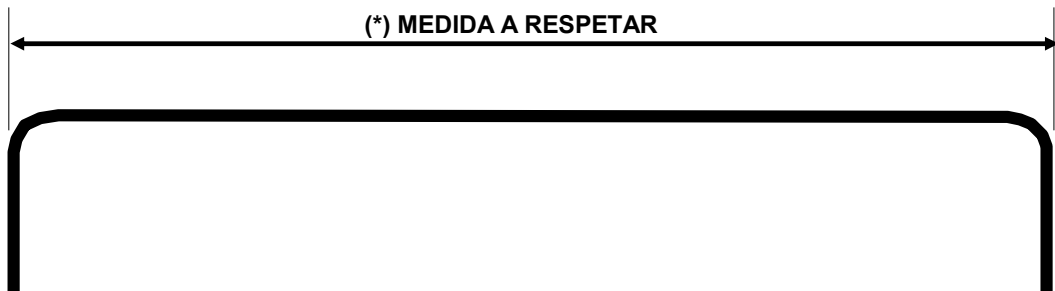
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



MATERIAL: ADN-420

| TOTAL LONG. (m) | Φ | PESO | |
|-----------------------|-----|---------------|-----------------|
| | | Unid. kg/m | TOTAL kg |
| 0,0 | 4,2 | 0,11 | 0,0 |
| 0,0 | 6 | 0,22 | 0,0 |
| 0,0 | 8 | 0,39 | 0,0 |
| 226,2 | 10 | 0,62 | 139,5 |
| 0,0 | 12 | 0,89 | 0,0 |
| 7718,9 | 16 | 1,58 | 12.183,1 |
| 12102,7 | 20 | 2,47 | 29.847,0 |
| 6318,1 | 25 | 3,85 | 24.345,8 |
| 0,0 | 30 | 5,55 | 0,0 |
| 0,0 | 32 | 6,31 | 0,0 |
| TOTAL kg | | | 66.515,4 |

NOTA:





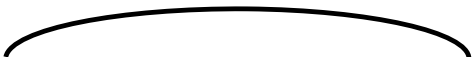




**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









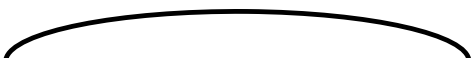
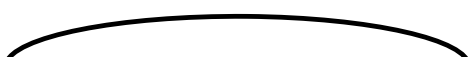
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|---|-------------------------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 1.a.A | 20 | Nº de elementos iguales | 6 | 1 | 6 | 1200,0 | 7200,0 |
| 1.a.B | |  Reje [cm]= 1094 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.a.C | | | | | | | |
| 1.a.D | | | | | | | |
| 1.a.E | | | | | | | |
| 1.a.F | | | | | | | |
| 1.a.G | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 478,8 |
| 1.b.A | 20 | Nº de elementos iguales | 6 | 1 | 6 | 1200,0 | 7200,0 |
| 1.b.B | |  Reje [cm]= 1079 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.b.C | | | | | | | |
| 1.b.D | | | | | | | |
| 1.b.E | | | | | | | |
| 1.b.F | | | | | | | |
| 1.b.G | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 384,6 |
| 1.c.A | 20 | Nº de elementos iguales | 6 | 1 | 6 | 1200,0 | 7200,0 |
| 1.c.B | |  Reje [cm]= 1064 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.c.C | | | | | | | |
| 1.c.D | | | | | | | |
| 1.c.E | | | | | | | |
| 1.c.F | | | | | | | |
| 1.c.G | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 290,3 |
| 1.d.A | 20 | Nº de elementos iguales | 6 | 1 | 6 | 1200,0 | 7200,0 |
| 1.d.B | |  Reje [cm]= 1049 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.d.C | | | | | | | |
| 1.d.D | | | | | | | |
| 1.d.E | | | | | | | |
| 1.d.F | | | | | | | |
| 1.d.G | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 230,0 |
| 1.e.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.e.B | |  Reje [cm]= 1034 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.e.C | | | | | | | |
| 1.e.D | | | | | | | |
| 1.e.E | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001







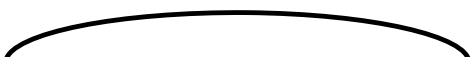
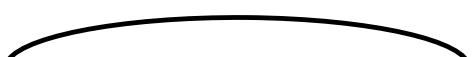
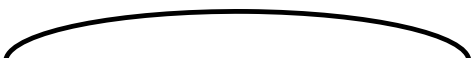
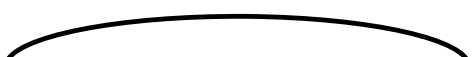
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 1.e.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1186,8 | 1186,8 |
| | |  Reje [cm]= 1034 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.f.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.f.B | |  Reje [cm]= 1019 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.f.C | | | | | | | |
| 1.f.D | | | | | | | |
| 1.f.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.f.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1092,6 | 1092,6 |
| | |  Reje [cm]= 1019 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.g.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.g.B | |  Reje [cm]= 1004 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.g.C | | | | | | | |
| 1.g.D | | | | | | | |
| 1.g.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.g.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 998,3 | 998,3 |
| | |  Reje [cm]= 1004 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.h.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.h.B | |  Reje [cm]= 989 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.h.C | | | | | | | |
| 1.h.D | | | | | | | |
| 1.h.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.h.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 904,1 | 904,1 |
| | |  Reje [cm]= 989 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.i.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.i.B | |  Reje [cm]= 974 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.i.C | | | | | | | |
| 1.i.D | | | | | | | |
| 1.i.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









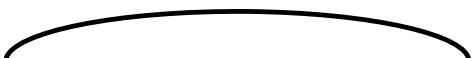

| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|-------------------------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 1.i.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 809,8 | 809,8 |
| | |  Reje [cm]= 974 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.j.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.j.B | |  Reje [cm]= 959 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.j.C | | | | | | | |
| 1.j.D | | | | | | | |
| 1.j.E | | | | | | | |
| 1.j.F | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 715,6 |
| | |  Reje [cm]= 959 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.k.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.k.B | |  Reje [cm]= 944 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.k.C | | | | | | | |
| 1.k.D | | | | | | | |
| 1.k.E | | | | | | | |
| 1.k.F | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 621,3 |
| | |  Reje [cm]= 944 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.l.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.l.B | |  Reje [cm]= 929 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.l.C | | | | | | | |
| 1.l.D | | | | | | | |
| 1.l.E | | | | | | | |
| 1.l.F | 20 | | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 527,1 |
| | |  Reje [cm]= 929 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.m.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.m.B | |  Reje [cm]= 914 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.m.C | | | | | | | |
| 1.m.D | | | | | | | |
| 1.m.E | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









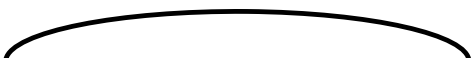
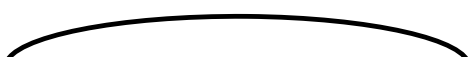
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 1.m.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 432,8 | 432,8 |
| | |  Reje [cm]= 914 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.n.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.n.B | |  Reje [cm]= 899 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.n.C | | | | | | | |
| 1.n.D | | | | | | | |
| 1.n.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.n.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 338,6 | 338,6 |
| | |  Reje [cm]= 899 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.o.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.o.B | |  Reje [cm]= 884 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.o.C | | | | | | | |
| 1.o.D | | | | | | | |
| 1.o.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.o.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 244,3 | 244,3 |
| | |  Reje [cm]= 884 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.p.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 1.p.B | |  Reje [cm]= 869 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.p.C | | | | | | | |
| 1.p.D | | | | | | | |
| 1.p.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.p.F | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 230,0 | 230,0 |
| | |  Reje [cm]= 869 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.q.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.q.B | |  Reje [cm]= 854 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.q.C | | | | | | | |
| 1.q.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001







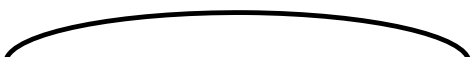
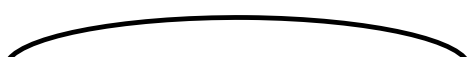
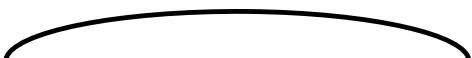
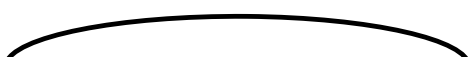
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 1.q.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1140,8 | 1140,8 |
| | |  Reje [cm]= 854 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.r.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.r.B | |  Reje [cm]= 839 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.r.C | | | | | | | |
| 1.r.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.r.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1046,6 | 1046,6 |
| | |  Reje [cm]= 839 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.s.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.s.B | |  Reje [cm]= 824 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.s.C | | | | | | | |
| 1.s.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.s.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 952,3 | 952,3 |
| | |  Reje [cm]= 824 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.t.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.t.B | |  Reje [cm]= 809 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.t.C | | | | | | | |
| 1.t.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.t.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 858,1 | 858,1 |
| | |  Reje [cm]= 809 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.u.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.u.B | |  Reje [cm]= 794 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.u.C | | | | | | | |
| 1.u.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 1.u.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 763,8 | 763,8 |
| | |  Reje [cm]= 794 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.v.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.v.B | |  Reje [cm]= 779 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.v.C | | | | | | | |
| 1.v.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.v.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 669,6 | 669,6 |
| | |  Reje [cm]= 779 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.w.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.w.B | |  Reje [cm]= 764 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.w.C | | | | | | | |
| 1.w.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.w.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 575,4 | 575,4 |
| | |  Reje [cm]= 764 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.x.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.x.B | |  Reje [cm]= 749 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.x.C | | | | | | | |
| 1.x.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 1.x.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 481,1 | 481,1 |
| | |  Reje [cm]= 749 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.y.A | 20 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 1.y.B | |  Reje [cm]= 734 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 1.y.C | | | | | | | |
| 1.y.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |
| 1.y.E | 20 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 386,9 | 386,9 |
| | |  Reje [cm]= 734 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 1.z.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 1018,5 | 5092,6 |
| 1.z.B | | | | | | |
| 1.z.C | | | | | | |
| 1.z.D | | | | | | |
| 1.z.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 719 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 1.aa.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 999,7 | 4998,4 |
| 1.aa.B | | | | | | |
| 1.aa.C | | | | | | |
| 1.aa.D | | | | | | |
| 1.aa.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 704 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 1.ab.A | 20 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 980,8 | 4904,1 |
| 1.ab.B | | | | | | |
| 1.ab.C | | | | | | |
| 1.ab.D | | | | | | |
| 1.ab.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 689 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 2.a.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 987,0 | 4934,9 |
| 2.a.B | | | | | | |
| 2.a.C | | | | | | |
| 2.a.D | | | | | | |
| 2.a.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 674 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 2.b.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 968,1 | 4840,6 |
| 2.b.B | | | | | | |
| 2.b.C | | | | | | |
| 2.b.D | | | | | | |
| 2.b.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 659 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 2.c.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 949,3 | 4746,4 |
| 2.c.B | | | | | | |
| 2.c.C | | | | | | |
| 2.c.D | | | | | | |
| 2.c.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 644 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |
| 2.d.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 5 | 930,4 | 4652,1 |
| 2.d.B | | | | | | |
| 2.d.C | | | | | | |
| 2.d.D | | | | | | |
| 2.d.E | | | | | | |
| | |  Reje [cm]= 629 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001







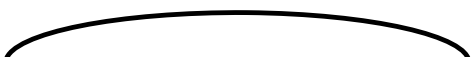
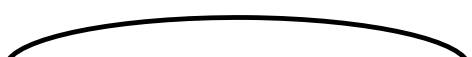
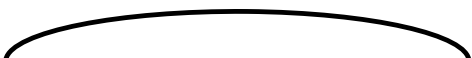
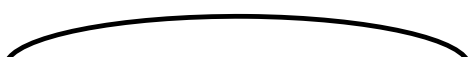
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------------|-----------|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 2.e.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1104,5 | 4417,9 |
| 2.e.B | |  Reje [cm]= 614 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.e.C | | | | | | | |
| 2.e.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.f.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1080,9 | 4323,6 |
| 2.f.B | |  Reje [cm]= 599 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.f.C | | | | | | | |
| 2.f.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.g.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1057,3 | 4229,4 |
| 2.g.B | |  Reje [cm]= 584 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.g.C | | | | | | | |
| 2.g.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.h.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1033,8 | 4135,1 |
| 2.h.B | |  Reje [cm]= 569 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.h.C | | | | | | | |
| 2.h.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.i.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1010,2 | 4040,9 |
| 2.i.B | |  Reje [cm]= 554 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.i.C | | | | | | | |
| 2.i.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.j.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 986,7 | 3946,6 |
| 2.j.B | |  Reje [cm]= 539 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.j.C | | | | | | | |
| 2.j.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.k.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 963,1 | 3852,4 |
| 2.k.B | |  Reje [cm]= 524 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.k.C | | | | | | | |
| 2.k.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.l.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 939,5 | 3758,1 |
| 2.l.B | |  Reje [cm]= 509 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.l.C | | | | | | | |
| 2.l.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------------|-----------|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 2.m.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 916,0 | 3663,9 |
| 2.m.B | |  Reje [cm]= 494 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.m.C | | | | | | | |
| 2.m.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.n.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 892,4 | 3569,6 |
| 2.n.B | |  Reje [cm]= 479 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.n.C | | | | | | | |
| 2.n.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.o.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 868,8 | 3475,4 |
| 2.o.B | |  Reje [cm]= 464 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.o.C | | | | | | | |
| 2.o.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.p.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 845,3 | 3381,2 |
| 2.p.B | |  Reje [cm]= 449 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.p.C | | | | | | | |
| 2.p.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.q.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 821,7 | 3286,9 |
| 2.q.B | |  Reje [cm]= 434 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.q.C | | | | | | | |
| 2.q.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.r.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 798,2 | 3192,7 |
| 2.r.B | |  Reje [cm]= 419 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.r.C | | | | | | | |
| 2.r.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.s.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 774,6 | 3098,4 |
| 2.s.B | |  Reje [cm]= 404 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.s.C | | | | | | | |
| 2.s.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 2.t.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 751,0 | 3004,2 |
| 2.t.B | |  Reje [cm]= 389 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 2.t.C | | | | | | | |
| 2.t.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 2.u.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 727,5 | 2909,9 |
| 2.u.B | | <p align="center">Reje [cm]= 374 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 2.u.C | | | | | | | |
| 2.u.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 3.a.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 705,5 | 2821,9 |
| 3.a.B | | <p align="center">Reje [cm]= 360 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 3.a.C | | | | | | | |
| 3.a.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 3.b.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 681,9 | 2727,7 |
| 3.b.B | | <p align="center">Reje [cm]= 345 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 3.b.C | | | | | | | |
| 3.b.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 3.c.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 831,2 | 2493,5 |
| 3.c.B | | <p align="center">Reje [cm]= 330 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 3.c.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 3.d.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 799,7 | 2399,2 |
| 3.d.B | | <p align="center">Reje [cm]= 315 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 3.d.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 3.e.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 768,3 | 2305,0 |
| 3.e.B | | <p align="center">Reje [cm]= 300 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 3.e.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4.a.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 843,6 | 2530,9 |
| 4.a.B | | <p align="center">Reje [cm]= 367 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 4.a.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4.b.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 812,2 | 2436,7 |
| 4.b.B | | <p align="center">Reje [cm]= 352 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 4.b.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 4.c.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 780,8 | 2342,4 |
| 4.c.B | |  Reje [cm]= 337 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 4.c.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4.d.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 749,4 | 2248,2 |
| 4.d.B | |  Reje [cm]= 322 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 4.d.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4.e.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 718,0 | 2153,9 |
| 4.e.B | |  Reje [cm]= 307 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 4.e.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 4.f.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 686,6 | 2059,7 |
| 4.f.B | |  Reje [cm]= 292 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 4.f.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5.a.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 776,9 | 2330,7 |
| 5.a.B | |  Reje [cm]= 285 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.a.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5.b.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 745,5 | 2236,5 |
| 5.b.B | |  Reje [cm]= 270 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.b.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5.c.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 714,1 | 2142,2 |
| 5.c.B | |  Reje [cm]= 255 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.c.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5.d.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 682,7 | 2048,0 |
| 5.d.B | |  Reje [cm]= 240 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.d.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001




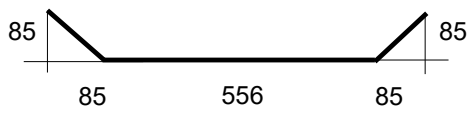
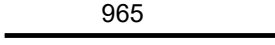
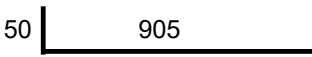
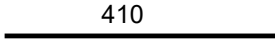
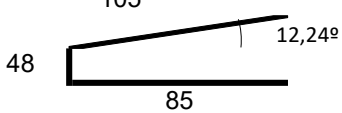


| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 5.e.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 651,2 | 1953,7 |
| 5.e.B | |  Reje [cm]= 225 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.e.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5.f.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 557,0 | 1671,0 |
| 5.f.B | |  Reje [cm]= 180 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.f.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 5.g.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 525,6 | 1576,7 |
| 5.g.B | |  Reje [cm]= 165 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 5.g.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 6.a.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 675,1 | 2025,4 |
| 6.a.B | |  Reje [cm]= 277 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 6.a.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 6.b.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 643,7 | 1931,2 |
| 6.b.B | |  Reje [cm]= 262 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 6.b.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 6.c.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 612,3 | 1836,9 |
| 6.c.B | |  Reje [cm]= 247 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 6.c.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 6.d.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 580,9 | 1742,7 |
| 6.d.B | |  Reje [cm]= 232 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 6.d.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 6.e.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 490,8 | 1472,5 |
| 6.e.B | |  Reje [cm]= 189 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | |
| 6.e.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|----------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 6.f.A | 16 | Nº de elementos iguales | 2 | 1 | 2 | 641,6 | 1283,3 |
| 6.f.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 174 CIRCUNFERENCIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 7 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 99 | 99 | 796,4 | 78845,2 |
| | |  <p align="center">Radio Mandril de Doblado [cm]= 20 PARRILLA TALÓN</p> | | | | | |
| 8.1 | 25 | Nº de elementos iguales | 168 | 1 | 168 | 965,0 | 162120,0 |
| 8.2 | |  <p align="center">965 RADIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 9.1 | 20 | Nº de elementos iguales | 168 | 1 | 168 | 955,0 | 160440,0 |
| 9.2 | |  <p align="center">Radio Mandril de Doblado [cm] = 25 RADIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 10 | 16 | Nº de elementos iguales | 168 | 1 | 168 | 410,0 | 68880,0 |
| | |  <p align="center">410 RADIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 11 | 16 | Nº de elementos iguales | 336 | 1 | 336 | 228,0 | 76622,3 |
| | |  <p align="center">Radio Mandril de Doblado [cm]= 10 RADIAL INFERIOR</p> | | | | | |
| 12.a.A | 16 | Nº de elementos iguales | 6 | 3 | 18 | 1200,0 | 21600,0 |
| 12.a.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 1094 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 12.a.C | | | | | | | |
| 12.a.D | | | | | | | |
| 12.a.E | | | | | | | |
| 12.a.F | | | | | | | |
| 12.a.G | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 3 | 3 | 338,8 | 1016,4 |
| | |  <p align="center">Reje [cm]= 1094 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001




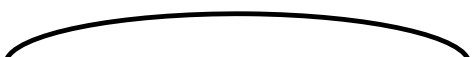



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|---|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.b.A | 16 | Nº de elementos iguales | 6 | 1 | 6 | 1200,0 | 7200,0 |
| 12.b.B | |  Reje [cm]= 1079 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.b.C | | | | | | | |
| 12.b.D | | | | | | | |
| 12.b.E | | | | | | | |
| 12.b.F | | | | | | | |
| 12.b.G | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 244,6 | 244,6 |
| | |  Reje [cm]= 1079 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.c.A | 16 | Nº de elementos iguales | 6 | 1 | 6 | 1200,0 | 7200,0 |
| 12.c.B | |  Reje [cm]= 1064 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.c.C | | | | | | | |
| 12.c.D | | | | | | | |
| 12.c.E | | | | | | | |
| 12.c.F | | | | | | | |
| 12.c.G | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 190,0 | 190,0 |
| | |  Reje [cm]= 1064 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.d.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.d.B | |  Reje [cm]= 1049 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.d.C | | | | | | | |
| 12.d.D | | | | | | | |
| 12.d.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.d.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1161,1 | 1161,1 |
| | |  Reje [cm]= 1049 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.e.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.e.B | |  Reje [cm]= 1034 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.e.C | | | | | | | |
| 12.e.D | | | | | | | |
| 12.e.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.e.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1066,8 | 1066,8 |
| | |  Reje [cm]= 1034 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









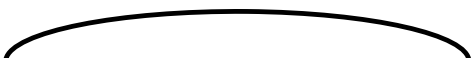

| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.f.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.f.B | |  Reje [cm]= 1019 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.f.C | | | | | | | |
| 12.f.D | | | | | | | |
| 12.f.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.g.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.g.B | |  Reje [cm]= 1004 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.g.C | | | | | | | |
| 12.g.D | | | | | | | |
| 12.g.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.h.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.h.B | |  Reje [cm]= 989 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.h.C | | | | | | | |
| 12.h.D | | | | | | | |
| 12.h.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.i.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.i.B | |  Reje [cm]= 974 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.i.C | | | | | | | |
| 12.i.D | | | | | | | |
| 12.i.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.i.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 689,8 | 689,8 |
| | |  Reje [cm]= 974 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









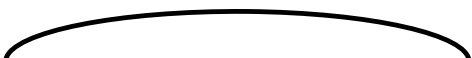

| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.j.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.j.B | |  Reje [cm]= 959 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.j.C | | | | | | | |
| 12.j.D | | | | | | | |
| 12.j.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.j.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 595,6 | 595,6 |
| | |  Reje [cm]= 959 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.k.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.k.B | |  Reje [cm]= 944 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.k.C | | | | | | | |
| 12.k.D | | | | | | | |
| 12.k.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.k.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 501,3 | 501,3 |
| | |  Reje [cm]= 944 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.l.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.l.B | |  Reje [cm]= 929 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.l.C | | | | | | | |
| 12.l.D | | | | | | | |
| 12.l.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.l.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 407,1 | 407,1 |
| | |  Reje [cm]= 929 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.m.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.m.B | |  Reje [cm]= 914 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.m.C | | | | | | | |
| 12.m.D | | | | | | | |
| 12.m.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.m.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 312,8 | 312,8 |
| | |  Reje [cm]= 914 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.n.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.n.B | |  Reje [cm]= 899 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.n.C | | | | | | | |
| 12.n.D | | | | | | | |
| 12.n.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.n.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 218,6 | 218,6 |
| | |  Reje [cm]= 899 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.o.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1200,0 | 6000,0 |
| 12.o.B | |  Reje [cm]= 884 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.o.C | | | | | | | |
| 12.o.D | | | | | | | |
| 12.o.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.o.F | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 190,0 | 190,0 |
| | |  Reje [cm]= 884 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.p.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.p.B | |  Reje [cm]= 869 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.p.C | | | | | | | |
| 12.p.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.p.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1135,1 | 1135,1 |
| | |  Reje [cm]= 869 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.q.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.q.B | |  Reje [cm]= 854 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.q.C | | | | | | | |
| 12.q.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.q.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 1040,8 | 1040,8 |
| | |  Reje [cm]= 854 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.r.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.r.B | |  Reje [cm]= 839 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.r.C | | | | | | | |
| 12.r.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.r.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 946,6 | 946,6 |
| | |  Reje [cm]= 839 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.s.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.s.B | |  Reje [cm]= 824 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.s.C | | | | | | | |
| 12.s.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.s.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 852,3 | 852,3 |
| | |  Reje [cm]= 824 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.t.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.t.B | |  Reje [cm]= 809 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.t.C | | | | | | | |
| 12.t.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.t.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 758,1 | 758,1 |
| | |  Reje [cm]= 809 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.u.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.u.B | |  Reje [cm]= 794 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.u.C | | | | | | | |
| 12.u.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.u.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 663,8 | 663,8 |
| | |  Reje [cm]= 794 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









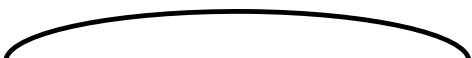

| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.v.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.v.B | |  Reje [cm]= 779 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.v.C | | | | | | | |
| 12.v.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.v.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 569,6 | 569,6 |
| | |  Reje [cm]= 779 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.w.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.w.B | |  Reje [cm]= 764 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.w.C | | | | | | | |
| 12.w.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.w.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 475,4 | 475,4 |
| | |  Reje [cm]= 764 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.x.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.x.B | |  Reje [cm]= 749 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.x.C | | | | | | | |
| 12.x.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.x.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 381,1 | 381,1 |
| | |  Reje [cm]= 749 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.y.A | 16 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1200,0 | 4800,0 |
| 12.y.B | |  Reje [cm]= 734 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.y.C | | | | | | | |
| 12.y.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.y.E | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 286,9 | 286,9 |
| | |  Reje [cm]= 734 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|---------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 12.z.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 998,5 | 4992,6 |
| 12.z.B | |  Reje [cm]= 719 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.z.C | | | | | | | |
| 12.z.D | | | | | | | |
| 12.z.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.aa.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 979,7 | 4898,4 |
| 12.aa.B | |  Reje [cm]= 704 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.aa.C | | | | | | | |
| 12.aa.D | | | | | | | |
| 12.aa.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 12.ab.A | 16 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 960,8 | 4804,1 |
| 12.ab.B | |  Reje [cm]= 689 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 12.ab.C | | | | | | | |
| 12.ab.D | | | | | | | |
| 12.ab.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.a.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1027,0 | 5134,9 |
| 13.a.B | |  Reje [cm]= 674 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.a.C | | | | | | | |
| 13.a.D | | | | | | | |
| 13.a.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.b.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 1008,1 | 5040,6 |
| 13.b.B | |  Reje [cm]= 659 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.b.C | | | | | | | |
| 13.b.D | | | | | | | |
| 13.b.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.c.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 989,3 | 4946,4 |
| 13.c.B | |  Reje [cm]= 644 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.c.C | | | | | | | |
| 13.c.D | | | | | | | |
| 13.c.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.d.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 970,4 | 4852,1 |
| 13.d.B | |  Reje [cm]= 629 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.d.C | | | | | | | |
| 13.d.D | | | | | | | |
| 13.d.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.e.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 951,6 | 4757,9 |
| 13.e.B | |  Reje [cm]= 614 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.e.C | | | | | | | |
| 13.e.D | | | | | | | |
| 13.e.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









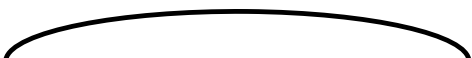

| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 13.f.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 932,7 | 4663,6 |
| 13.f.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 599 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.f.C | | | | | | | |
| 13.f.D | | | | | | | |
| 13.f.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.g.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 913,9 | 4569,4 |
| 13.g.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 584 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.g.C | | | | | | | |
| 13.g.D | | | | | | | |
| 13.g.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.h.A | 25 | Nº de elementos iguales | 5 | 1 | 5 | 895,0 | 4475,1 |
| 13.h.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 569 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.h.C | | | | | | | |
| 13.h.D | | | | | | | |
| 13.h.E | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.i.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1050,2 | 4200,9 |
| 13.i.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 554 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.i.C | | | | | | | |
| 13.i.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.j.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1026,7 | 4106,6 |
| 13.j.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 539 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.j.C | | | | | | | |
| 13.j.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.k.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 1003,1 | 4012,4 |
| 13.k.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 524 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.k.C | | | | | | | |
| 13.k.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.l.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 979,5 | 3918,1 |
| 13.l.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 509 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.l.C | | | | | | | |
| 13.l.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.m.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 956,0 | 3823,9 |
| 13.m.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 494 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 13.m.C | | | | | | | |
| 13.m.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001





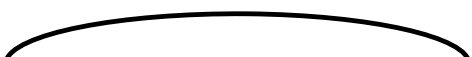
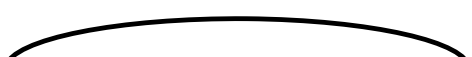
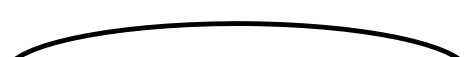
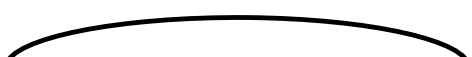
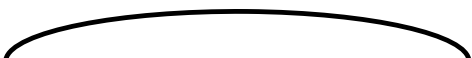
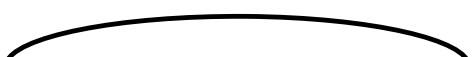
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 13.n.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 932,4 | 3729,6 |
| 13.n.B | |  Reje [cm]= 479 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.n.C | | | | | | | |
| 13.n.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.o.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 908,8 | 3635,4 |
| 13.o.B | |  Reje [cm]= 464 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.o.C | | | | | | | |
| 13.o.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.p.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 885,3 | 3541,2 |
| 13.p.B | |  Reje [cm]= 449 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.p.C | | | | | | | |
| 13.p.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.q.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 861,7 | 3446,9 |
| 13.q.B | |  Reje [cm]= 434 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.q.C | | | | | | | |
| 13.q.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.r.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 838,2 | 3352,7 |
| 13.r.B | |  Reje [cm]= 419 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.r.C | | | | | | | |
| 13.r.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.s.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 814,6 | 3258,4 |
| 13.s.B | |  Reje [cm]= 404 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.s.C | | | | | | | |
| 13.s.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.t.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 791,0 | 3164,2 |
| 13.t.B | |  Reje [cm]= 389 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.t.C | | | | | | | |
| 13.t.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 13.u.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 767,5 | 3069,9 |
| 13.u.B | |  Reje [cm]= 374 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 13.u.C | | | | | | | |
| 13.u.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001











| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 14.a.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 745,5 | 2981,9 |
| 14.a.B | |  Reje [cm]= 360 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.a.C | | | | | | | |
| 14.a.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.b.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 721,9 | 2887,7 |
| 14.b.B | |  Reje [cm]= 345 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.b.C | | | | | | | |
| 14.b.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.c.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 698,4 | 2793,5 |
| 14.c.B | |  Reje [cm]= 330 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.c.C | | | | | | | |
| 14.c.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.d.A | 25 | Nº de elementos iguales | 4 | 1 | 4 | 674,8 | 2699,2 |
| 14.d.B | |  Reje [cm]= 315 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.d.C | | | | | | | |
| 14.d.D | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.e.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 808,3 | 2425,0 |
| 14.e.B | |  Reje [cm]= 300 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.e.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.f.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 776,9 | 2330,7 |
| 14.f.B | |  Reje [cm]= 285 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.f.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.g.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 745,5 | 2236,5 |
| 14.g.B | |  Reje [cm]= 270 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.g.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.h.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 714,1 | 2142,2 |
| 14.h.B | |  Reje [cm]= 255 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.h.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001









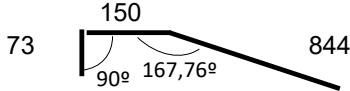
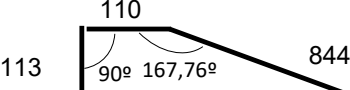
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 14.i.a | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 682,7 | 2048,0 |
| 14.i.B | |  Reje [cm]= 240 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.i.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.j.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 561,2 | 1683,5 |
| 14.j.B | |  Reje [cm]= 182 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.j.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 14.k.A | 25 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 529,8 | 1589,3 |
| 14.k.B | |  Reje [cm]= 167 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 14.k.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.a.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 863,6 | 2590,9 |
| 15.a.B | |  Reje [cm]= 367 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 15.a.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.b.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 832,2 | 2496,7 |
| 15.b.B | |  Reje [cm]= 352 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 15.b.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.c.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 800,8 | 2402,4 |
| 15.c.B | |  Reje [cm]= 337 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 15.c.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.d.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 769,4 | 2308,2 |
| 15.d.B | |  Reje [cm]= 322 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 15.d.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.e.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 738,0 | 2213,9 |
| 15.e.A | |  Reje [cm]= 307 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | |
| 15.e.A | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|--------|----|--|----------|-------|-----------|--------|----------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 15.f.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 706,6 | 2119,7 |
| 15.f.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 292 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 15.f.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.g.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 675,1 | 2025,4 |
| 15.g.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 277 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 15.g.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.h.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 643,7 | 1931,2 |
| 15.h.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 262 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 15.h.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.i.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 612,3 | 1836,9 |
| 15.i.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 247 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 15.i.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.j.A | 16 | Nº de elementos iguales | 3 | 1 | 3 | 580,9 | 1742,7 |
| 15.j.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 232 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 15.j.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 15.k.A | 16 | Nº de elementos iguales | 2 | 1 | 2 | 641,6 | 1283,3 |
| 15.k.B | |  <p align="center">Reje [cm]= 174 CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| 15.k.C | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| 16.1 | 25 | Nº de elementos iguales | 168 | 1 | 168 | 1067,0 | 179256,0 |
| 16.2 | |  <p align="center">Radio Mandril de Doblado [cm] = 32</p> <p>NOTA IMPORTANTE: 11 elementos de la posición 16.1 y 11 elementos de 16.2 deberán doblarse como sigue:</p> | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| (*) | |  <p align="center">(*) Estos elementos se corresponden con los que se intersectan con los caños embebidos RADIAL SUPERIOR</p> | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|------|----|---|----------|-------|-----------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |
| 16.3 | 25 | <p>Nº de elementos iguales 84</p> <p>Radio Mandril de Doblado [cm] = 32</p> <p>NOTA IMPORTANTE: 11 elementos de la posición 16.3 deberán doblarse como sigue:</p> <p>(*)</p> <p>(*) Estos elementos se corresponden con los que se intersectan con los caños embebidos RADIAL SUPERIOR</p> | 1 | 84 | 318,0 | 26712,0 |
| 17.1 | 16 | <p>Nº de elementos iguales 84</p> <p>Radio Mandril de Doblado [cm] = 25 RADIAL SUPERIOR</p> | 1 | 84 | 964,0 | 80976,0 |
| 17.2 | 16 | <p>Nº de elementos iguales 84</p> <p>Radio Mandril de Doblado [cm] = 25 RADIAL SUPERIOR</p> | 1 | 84 | 958,0 | 80472,0 |
| 18 | 16 | <p>Nº de elementos iguales 168</p> <p>RADIAL SUPERIOR</p> | 1 | 168 | 507,0 | 85176,0 |
| 19 | 20 | <p>Nº de elementos iguales 80</p> <p>Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE</p> | 1 | 80 | 306,8 | 24545,8 |
| 20 | 20 | <p>Nº de elementos iguales 80</p> <p>Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE</p> | 1 | 80 | 300,8 | 24065,8 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-----|----|---|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 21 | 20 | Nº de elementos iguales 52 213 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 80 | 1 | 80 | 293,8 | 23505,8 |
| 22 | 20 | Nº de elementos iguales 52 207 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 80 | 1 | 80 | 287,8 | 23025,8 |
| 23 | 20 | Nº de elementos iguales 52 200 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 80 | 1 | 80 | 280,8 | 22465,8 |
| 24 | 20 | Nº de elementos iguales 52 194 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 80 | 1 | 80 | 274,8 | 21985,8 |
| 25 | 20 | Nº de elementos iguales 52 187 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 80 | 1 | 80 | 267,8 | 21425,8 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-----|----|---|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 26 | 20 | Nº de elementos iguales 52 181 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 261,8 | 41891,7 |
| 27 | 20 | Nº de elementos iguales 52 173 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 253,8 | 40611,7 |
| 28 | 20 | Nº de elementos iguales 52 165 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 245,8 | 39331,7 |
| 29 | 20 | Nº de elementos iguales 52 158 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 238,8 | 38211,7 |
| 30 | 20 | Nº de elementos iguales 52 150 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 230,8 | 36931,7 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-----|----|---|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 31 | 20 | Nº de elementos iguales 143 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 223,8 | 35811,7 |
| 32 | 20 | Nº de elementos iguales 135 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 215,8 | 34531,7 |
| 33 | 20 | Nº de elementos iguales 127 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 207,8 | 33251,7 |
| 34 | 20 | Nº de elementos iguales 120 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 200,8 | 32131,7 |
| 35 | 20 | Nº de elementos iguales 112 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 192,8 | 30851,7 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



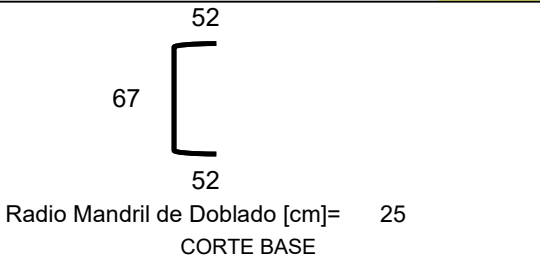
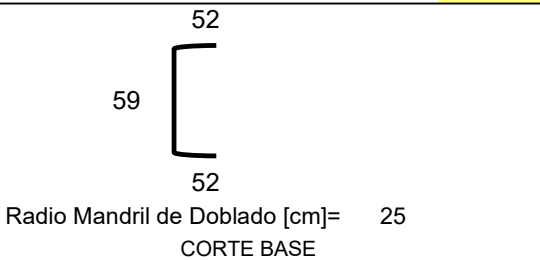
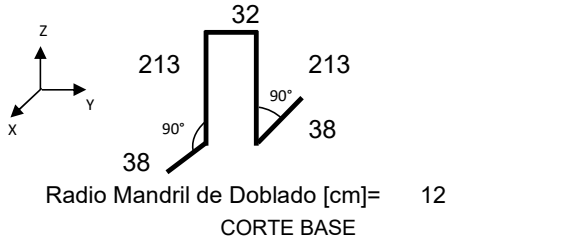
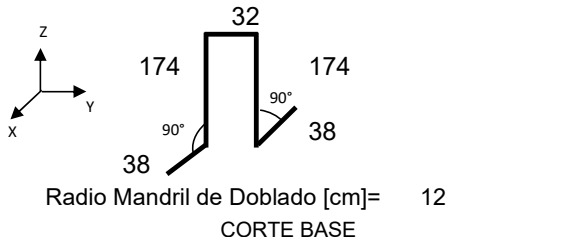
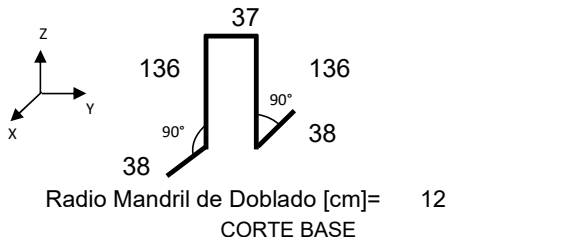
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-----|----|---|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 36 | 20 | Nº de elementos iguales 105 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 185,8 | 29731,7 |
| 37 | 20 | Nº de elementos iguales 97 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 177,8 | 28451,7 |
| 38 | 20 | Nº de elementos iguales 89 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 169,8 | 27171,7 |
| 39 | 20 | Nº de elementos iguales 82 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 162,8 | 26051,7 |
| 40 | 20 | Nº de elementos iguales 74 52 Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 CORTE BASE | 160 | 1 | 160 | 154,8 | 24771,7 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



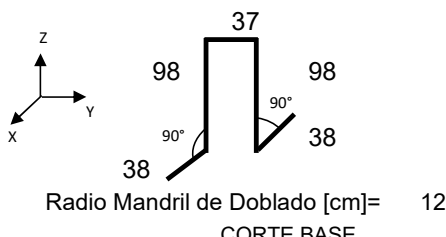
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|-----|----|---|----------|-------|-----------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |
| 41 | 20 | N° de elementos iguales 160  | 1 | 160 | 147,8 | 23651,7 |
| 42 | 20 | N° de elementos iguales 160  | 1 | 160 | 139,8 | 22371,7 |
| 43 | 20 | N° de elementos iguales 15  | 1 | 15 | 538,0 | 8069,5 |
| 44 | 20 | N° de elementos iguales 24  | 1 | 24 | 460,0 | 11039,2 |
| 45 | 20 | N° de elementos iguales 33  | 1 | 33 | 389,0 | 12835,8 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 46 | 20 | Nº de elementos iguales  | 42 | 1 | 42 | 313,0 | 13144,5 |
| 47.01 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°1 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 370 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 370,0 | 740,0 |
| 47.02 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°2 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 368 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 368,0 | 736,0 |
| 47.03 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°3 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 360 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 360,0 | 720,0 |
| 47.04 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°4 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 356 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 356,0 | 712,0 |
| 47.05 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°5 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 343 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 343,0 | 686,0 |
| 47.06 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°6 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 334 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 334,0 | 668,0 |
| 47.07 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°7 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 311 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 311,0 | 622,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 47.08 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº8 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 298 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 298,0 | 596,0 |
| 47.09 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº9 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 282 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 282,0 | 564,0 |
| 47.10 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº10 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 263 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 263,0 | 526,0 |
| 47.11 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº11 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 242 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 242,0 | 484,0 |
| 47.12 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº12 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 217 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 217,0 | 434,0 |
| 47.13 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº13 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 186 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 186,0 | 372,0 |
| 47.14 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº14 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 370 PARRILLA INFERIOR | 1 | 4 | 4 | 370,0 | 1480,0 |
| 47.15 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº15 paralela al el eje Vertical desde el centro s/ plano 367 PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 367,0 | 734,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|-----|---|---------------|----------|-------|-----------|-------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |









| | | | | | | | |
|-------|----|--|---|---|---|-------|-------|
| 47.16 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 363,0 | 726,0 |
| | | Posición Nº16 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 363 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.17 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 360,0 | 720,0 |
| | | Posición Nº17 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 360 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.18 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 354,0 | 708,0 |
| | | Posición Nº18 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 354 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.19 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 347,0 | 694,0 |
| | | Posición Nº19 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 347 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.20 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 338,0 | 676,0 |
| | | Posición Nº20 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 338 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.21 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 333,0 | 666,0 |
| | | Posición Nº21 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 333 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.22 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 328,0 | 656,0 |
| | | Posición Nº22 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 328 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |
| 47.23 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 304,0 | 304,0 |
| | | Posición Nº23 paralela al eje Vertical desde el centro hacia la derecha s/ plano | | | | | |
| | | 304 | | | | | |
| | | PARRILLA INFERIOR | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001





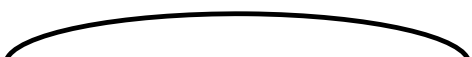
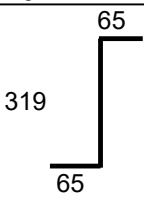
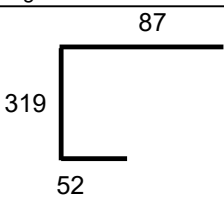
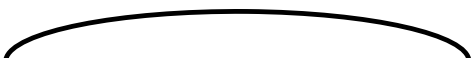
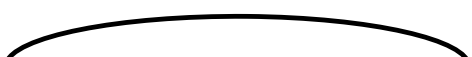
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 47.24 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº24 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 290  PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 290,0 | 580,0 |
| 47.25 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº25 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 273  PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 273,0 | 546,0 |
| 47.26 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº26 paralela al eje Vertical desde el centro hacia la derecha s/ plano 253  PARRILLA INFERIOR | 1 | 1 | 1 | 253,0 | 253,0 |
| 47.27 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº27 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 230  PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 230,0 | 460,0 |
| 47.28 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº28 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 202  PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 202,0 | 404,0 |
| 47.29 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº29 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 167  PARRILLA INFERIOR | 1 | 2 | 2 | 167,0 | 334,0 |
| 48 | 20 | Nº de elementos iguales 220  REFUERZO RADIAL BIELA INFERIOR | 2 | 84 | 168 | 220,0 | 36960,0 |
| 49.a | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 155 REFUERZO CIRCUNFERENCIAL BIELA INFERIOR | 2 | 2 | 4 | 581,9 | 2327,8 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001




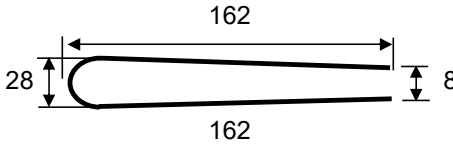





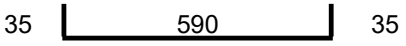
| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|------|----|---|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 49.b | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 185 REFUERZO CIRCUNFERENCIAL BIELA INFERIOR | 2 | 2 | 4 | 676,2 | 2704,8 |
| 49.c | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 230 REFUERZO CIRCUNFERENCIAL BIELA INFERIOR | 3 | 2 | 6 | 576,7 | 3460,3 |
| 49.d | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 260 REFUERZO CIRCUNFERENCIAL BIELA INFERIOR | 3 | 2 | 6 | 639,5 | 3837,3 |
| 50 | 25 | Nº de elementos iguales  Radio Mandril de Doblado [cm]= 32 ARMADURA VERTICAL EN FUSTE | 105 | 1 | 105 | 419,4 | 44035,4 |
| 51 | 20 | Nº de elementos iguales  Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 ARMADURA VERTICAL EN FUSTE | 84 | 1 | 84 | 434,8 | 36525,1 |
| 52.a | 10 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 129 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL FUSTE | 2 | 7 | 14 | 465,3 | 6513,7 |
| 52.b | 10 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 84 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL FUSTE | 2 | 5 | 10 | 323,9 | 3238,9 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|------|----|--|----------|-------|-----------|-------|---------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 53 | 10 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 264 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL FUSTE | 3 | 7 | 21 | 612,9 | 12871,3 |
| 54 | 20 | Nº de elementos iguales  Radio Mandril de Doblado [cm]= 12 ARMADURA DE COSTURA FUSTE | 42 | 3 | 126 | 340,0 | 42837,8 |
| 55 | 20 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 264 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL FUSTE | 3 | 3 | 9 | 697,9 | 6281,3 |
| 56.a | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 237 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR FUSTE | 1 | 3 | 3 | 591,4 | 1774,1 |
| 56.b | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 227 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR FUSTE | 1 | 3 | 3 | 570,4 | 1711,3 |
| 56.c | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 185 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR FUSTE | 1 | 2 | 2 | 676,2 | 1352,4 |
| 56.d | 16 | Nº de elementos iguales  Reje [cm]= 175 ARMADURA CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR FUSTE | 1 | 2 | 2 | 644,8 | 1289,6 |
| 57 | 16 | Nº de elementos iguales  Radio Mandril de Doblado [cm]= 25 PARRILLA INFERIOR | 1 | 4 | 4 | 685,0 | 2740,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|-------|-------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 58.01 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°1 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 370 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 370,0 | 740,0 |
| 58.02 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°2 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 368 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 368,0 | 736,0 |
| 58.03 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°3 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 360 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 360,0 | 720,0 |
| 58.04 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°4 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 356 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 356,0 | 712,0 |
| 58.05 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°5 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 343 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 343,0 | 686,0 |
| 58.06 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°6 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 334 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 334,0 | 668,0 |
| 58.07 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°7 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 311 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 311,0 | 622,0 |
| 58.08 | 16 | Nº de elementos iguales Posición N°8 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 298 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 298,0 | 596,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|-------|--------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 58.09 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº9 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 282 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 282,0 | 564,0 |
| 58.10 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº10 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 263 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 263,0 | 526,0 |
| 58.11 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº11 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 242 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 242,0 | 484,0 |
| 58.12 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº12 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 217 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 217,0 | 434,0 |
| 58.13 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº13 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 186 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 186,0 | 372,0 |
| 58.14 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº14 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 370 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 4 | 4 | 370,0 | 1480,0 |
| 58.15 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº15 paralela al el eje Vertical desde el centro s/ plano 367 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 367,0 | 734,0 |
| 58.16 | 16 | Nº de elementos iguales Posición Nº16 paralela al el eje Vertical desde el centro s/ plano 363 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 2 | 2 | 363,0 | 726,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|-----|---|---------------|----------|-------|-----------|-------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |

| | | | | | | | |
|-------|----|--|---|---|---|-------|-------|
| 58.17 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 360,0 | 720,0 |
| | | Posición Nº17 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 360 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.18 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 354,0 | 708,0 |
| | | Posición Nº18 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 354 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.19 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 347,0 | 694,0 |
| | | Posición Nº19 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 347 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.20 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 338,0 | 676,0 |
| | | Posición Nº20 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 338 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.21 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 333,0 | 666,0 |
| | | Posición Nº21 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 333 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.22 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 328,0 | 656,0 |
| | | Posición Nº22 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 328 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.23 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 304,0 | 304,0 |
| | | Posición Nº23 paralela al eje Vertical desde el centro hacia la derecha s/ plano | | | | | |
| | | 304 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.24 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 290,0 | 580,0 |
| | | Posición Nº24 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 290 | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | | |
|-------|----|--|----------|-------|-----------|-------|-------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL | |
| 58.25 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 273,0 | 546,0 |
| | | Posición Nº25 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 273 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.26 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 1 | 1 | 253,0 | 253,0 |
| | | Posición Nº26 paralela al eje Vertical desde el centro hacia la derecha s/ plano | | | | | |
| | | 253 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.27 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 230,0 | 460,0 |
| | | Posición Nº27 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 230 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.28 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 202,0 | 404,0 |
| | | Posición Nº28 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 202 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 58.29 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 167,0 | 334,0 |
| | | Posición Nº29 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 167 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 59.01 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 340,0 | 680,0 |
| | | Posición Nº1 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 340 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 59.02 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 337,0 | 674,0 |
| | | Posición Nº2 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 337 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |
| 59.03 | 16 | Nº de elementos iguales | 1 | 2 | 2 | 330,0 | 660,0 |
| | | Posición Nº3 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano | | | | | |
| | | 330 ————— | | | | | |
| | | PARRILLA INTERMEDIA | | | | | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|-------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |
| 59.04 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°4 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 320 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 320,0 | 640,0 |
| 59.05 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°5 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 310 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 310,0 | 620,0 |
| 59.06 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°6 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 300 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 300,0 | 600,0 |
| 59.07 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°7 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 275 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 275,0 | 550,0 |
| 59.08 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°8 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 240 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 240,0 | 480,0 |
| 59.09 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°9 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 190 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 190,0 | 380,0 |
| 59.10 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°10 paralela al eje Horizontal desde el centro s/ plano 115 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 115,0 | 230,0 |
| 59.11 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición N°11 paralela al eje Vertical s/ plano 340 PARRILLA INTERMEDIA | 1 | 1 | 340,0 | 340,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres Metálicas"
PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Φ | FORMA (CM) | CANTIDAD | | LONG.(cm) | |
|-------|----|---|----------|-------|-----------|-------|
| | | | PARCIAL | TOTAL | CORTE | TOTAL |
| 59.12 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº12 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 337 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 337,0 | 674,0 |
| 59.13 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº13 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 330 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 330,0 | 660,0 |
| 59.14 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº14 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 320 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 320,0 | 640,0 |
| 59.15 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº15 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 300 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 300,0 | 600,0 |
| 59.16 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº16 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 275 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 275,0 | 550,0 |
| 59.17 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº17 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 240 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 240,0 | 480,0 |
| 59.18 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº18 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 193 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 193,0 | 386,0 |
| 59.19 | 16 | Nº de elementos iguales 1 Posición Nº19 paralela al eje Vertical desde el centro s/ plano 115 PARRILLA INTERMEDIA | 2 | 2 | 115,0 | 230,0 |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres
Metálicas"**

PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Ø [mm] | ESQUEMA | A [cm] | B [cm] | C [cm] | D [cm] | E [cm] | F [cm] | G [cm] | Radio [cm] | Flecha [cm] |
|-----|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-------------|
|-----|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-------------|

| CIRCUNFERENCIAL INFERIOR | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|----|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|-----|
| 1 a | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 479 | 1094 | 160 |
| 1 b | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 385 | 1079 | 163 |
| 1 c | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 290 | 1064 | 165 |
| 1 d | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 230 | 1049 | 167 |
| 1 e | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1187 | | 1034 | 169 |
| 1 f | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1093 | | 1019 | 172 |
| 1 g | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 998 | | 1004 | 174 |
| 1 h | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 904 | | 989 | 176 |
| 1 i | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 810 | | 974 | 179 |
| 1 j | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 716 | | 959 | 182 |
| 1 k | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 621 | | 944 | 184 |
| 1 l | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 527 | | 929 | 187 |
| 1 m | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 433 | | 914 | 190 |
| 1 n | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 339 | | 899 | 193 |
| 1 o | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 244 | | 884 | 196 |
| 1 p | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 230 | | 869 | 199 |
| 1 q | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1141 | | | 854 | 202 |
| 1 r | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1047 | | | 839 | 206 |
| 1 s | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 952 | | | 824 | 209 |
| 1 t | 20 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 858 | | | 809 | 212 |
| 1 u | 20 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 764 | | | 794 | 216 | |
| 1 v | 20 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 670 | | | 779 | 220 | |
| 1 w | 20 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 575 | | | 764 | 224 | |
| 1 x | 20 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 481 | | | 749 | 228 | |
| 1 y | 20 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 387 | | | 734 | 232 | |
| 1 z | 20 | 1019 | 1019 | 1019 | 1019 | 1019 | | | 719 | 173 | |
| 1 aa | 20 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | 1000 | | | 704 | 170 | |
| 1 ab | 20 | 981 | 981 | 981 | 981 | 981 | | | 689 | 167 | |
| 2 a | 25 | | 987 | 987 | 987 | 987 | 987 | | | 674 | 173 |
| 2 b | 25 | | 968 | 968 | 968 | 968 | 968 | | | 659 | 170 |
| 2 c | 25 | | 949 | 949 | 949 | 949 | 949 | | | 644 | 167 |
| 2 d | 25 | | 930 | 930 | 930 | 930 | 930 | | | 629 | 164 |
| 2 e | 25 | | 1104 | 1104 | 1104 | 1104 | | | | 614 | 232 |
| 2 f | 25 | | 1081 | 1081 | 1081 | 1081 | | | | 599 | 228 |
| 2 g | 25 | | 1057 | 1057 | 1057 | 1057 | | | | 584 | 223 |
| 2 h | 25 | | 1034 | 1034 | 1034 | 1034 | | | | 569 | 219 |
| 2 i | 25 | | 1010 | 1010 | 1010 | 1010 | | | | 554 | 215 |
| 2 j | 25 | | 987 | 987 | 987 | 987 | | | | 539 | 210 |
| 2 k | 25 | | 963 | 963 | 963 | 963 | | | | 524 | 206 |
| 2 l | 25 | | 940 | 940 | 940 | 940 | | | | 509 | 202 |
| 2 m | 25 | | 916 | 916 | 916 | 916 | | | | 494 | 198 |
| 2 n | 25 | | 892 | 892 | 892 | 892 | | | | 479 | 193 |
| 2 o | 25 | | 869 | 869 | 869 | 869 | | | | 464 | 189 |
| 2 p | 25 | | 845 | 845 | 845 | 845 | | | | 449 | 185 |
| 2 q | 25 | | 822 | 822 | 822 | 822 | | | | 434 | 180 |
| 2 r | 25 | | 798 | 798 | 798 | 798 | | | | 419 | 176 |
| 2 s | 25 | | 775 | 775 | 775 | 775 | | | | 404 | 172 |
| 2 t | 25 | | 751 | 751 | 751 | 751 | | | | 389 | 168 |
| 2 u | 25 | 727 | 727 | 727 | 727 | | | | 374 | 163 | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres
Metálicas"**

PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Ø [mm] | ESQUEMA | A [cm] | B [cm] | C [cm] | D [cm] | E [cm] | F [cm] | G [cm] | Radio [cm] | Flecha [cm] |
|---------------------------------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|-------------|
| 3 a | 25 | | 705 | 705 | 705 | 705 | | | | 360 | 159 |
| 3 b | 25 | | 682 | 682 | 682 | 682 | | | | 345 | 155 |
| 3 c | 25 | | 831 | 831 | 831 | | | | | 330 | 229 |
| 3 d | 25 | | 800 | 800 | 800 | | | | | 315 | 221 |
| 3 e | 25 | | 768 | 768 | 768 | | | | | 300 | 214 |
| 4 a | 16 | | 844 | 844 | 844 | | | | | 367 | 217 |
| 4 b | 16 | | 812 | 812 | 812 | | | | | 352 | 209 |
| 4 c | 16 | | 781 | 781 | 781 | | | | | 337 | 202 |
| 4 d | 16 | | 749 | 749 | 749 | | | | | 322 | 194 |
| 4 e | 16 | | 718 | 718 | 718 | | | | | 307 | 187 |
| 4 f | 16 | | 687 | 687 | 687 | | | | | 292 | 180 |
| 5 a | 25 | | 777 | 777 | 777 | | | | | 285 | 226 |
| 5 b | 25 | | 745 | 745 | 745 | | | | | 270 | 219 |
| 5 c | 25 | | 714 | 714 | 714 | | | | | 255 | 212 |
| 5 d | 25 | | 683 | 683 | 683 | | | | | 240 | 204 |
| 5 e | 25 | | 651 | 651 | 651 | | | | | 225 | 197 |
| 5 f | 25 | | 557 | 557 | 557 | | | | | 180 | 176 |
| 5 g | 25 | | 526 | 526 | 526 | | | | | 165 | 169 |
| 6 a | 16 | | 675 | 675 | 675 | | | | | 277 | 181 |
| 6 b | 16 | | 644 | 644 | 644 | | | | | 262 | 174 |
| 6 c | 16 | | 612 | 612 | 612 | | | | | 247 | 167 |
| 6 d | 16 | | 581 | 581 | 581 | | | | | 232 | 159 |
| 6 e | 16 | | 491 | 491 | 491 | | | | | 189 | 138 |
| 6 f | 16 | | 642 | 642 | | | | | | 174 | 221 |
| CIRCUNFERENCIAL SUPERIOR | | | | | | | | | | | |
| 12 a | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 339 | 1094 | 160 |
| 12 b | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 245 | 1079 | 163 |
| 12 c | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 190 | 1064 | 165 |
| 12 d | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1161 | | 1049 | 167 |
| 12 e | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1067 | | 1034 | 169 |
| 12 f | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 973 | | 1019 | 172 |
| 12 g | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 878 | | 1004 | 174 |
| 12 h | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 784 | | 989 | 176 |
| 12 i | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 690 | | 974 | 179 |
| 12 j | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 596 | | 959 | 182 |
| 12 k | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 501 | | 944 | 184 |
| 12 l | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 407 | | 929 | 187 |
| 12 m | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 313 | | 914 | 190 |
| 12 n | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 219 | | 899 | 193 |
| 12 o | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 190 | | 884 | 196 |
| 12 p | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1135 | | | 869 | 199 |
| 12 q | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 1041 | | | 854 | 202 |
| 12 r | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 947 | | | 839 | 206 |
| 12 s | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 852 | | | 824 | 209 |
| 12 t | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 758 | | | 809 | 212 |
| 12 u | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 664 | | | 794 | 216 |
| 12 v | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 570 | | | 779 | 220 |
| 12 w | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 475 | | | 764 | 224 |
| 12 x | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 381 | | | 749 | 228 |
| 12 y | 16 | | 1200 | 1200 | 1200 | 1200 | 287 | | | 734 | 232 |
| 12 z | 16 | | 999 | 999 | 999 | 999 | 999 | | | 719 | 166 |
| 12 aa | 16 | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 | | | 704 | 164 | |
| 12 ab | 16 | 961 | 961 | 961 | 961 | 961 | | | 689 | 161 | |



**ESPECIALIZACIÓN EN INGENIERÍA ESTRUCTURAL
PROYECTO FINAL DE CARRERA**

**"Diseño y Cálculo de Fundaciones de Generadores Eólicos On-Shore con Torres
Metálicas"**

PLANILLA DE DOBLADO DE ARMADURAS - CI-LH-001



| POS | Ø [mm] | ESQUEMA | A [cm] | B [cm] | C [cm] | D [cm] | E [cm] | F [cm] | G [cm] | Radio [cm] | Flecha [cm] |
|-----|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------|
|-----|-----------|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|----------------|

| CIRCUNFERENCIAL FUSTE | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|---|----|-----|-----|-----|--|--|--|--|-----|-----|
| 49 | a | 16 | 582 | 582 | | | | | | 155 | 202 |
| 49 | b | 16 | 676 | 676 | | | | | | 185 | 232 |
| 49 | c | 16 | 577 | 577 | 577 | | | | | 230 | 158 |
| 49 | d | 16 | 640 | 640 | 640 | | | | | 260 | 173 |
| 52 | a | 10 | 465 | 465 | | | | | | 129 | 159 |
| 52 | b | 10 | 324 | 324 | | | | | | 84 | 113 |
| 53 | | 10 | 613 | 613 | 613 | | | | | 264 | 159 |
| 55 | | 20 | 698 | 698 | 698 | | | | | 264 | 199 |
| 56 | a | 16 | 591 | 591 | 591 | | | | | 237 | 162 |
| 56 | b | 16 | 570 | 570 | 570 | | | | | 227 | 157 |
| 56 | c | 16 | 676 | 676 | | | | | | 185 | 232 |
| 56 | d | 16 | 645 | 645 | | | | | | 175 | 222 |
| 57 | | 16 | 670 | 670 | 670 | | | | | 284 | 176 |

