UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS APLICADAS

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA ACADÉMICO DE INGENIERÍA CIVIL

Metodología del análisis y diseño de una torre tipo “S” de transmisión de energía eléctrica
autosoportada para una línea de 60KV, en el distrito de San Juan de Lurigancho

TESIS

Para optar el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR(ES)

Chullo Tito, Dennis Albert (0000-0001-7801-9041)

Mayorca Vilcahuamán, Skutt Charl (0000-0002-4441-7161)

ASESOR

Moreno Sanchez, Javier Daniel (0000-0003-2132-8171)

Lima, 19 de setiembre de 2020

DEDICATORIA

Dedicado a mis padres, hermanos y abuelos por la disciplina y respeto que me ayudaron a cumplir mis metas propuestas. Con mucho amor de su hijo, hermano y nieto, Dennis Chullo.

RESUMEN

Este trabajo tiene como meta servir de apoyo a las siguientes generaciones de ingenieros civiles a poder analizar y diseñar torres de celosía con manuales internacionales y propios de nuestro país. Este este trabajo podrás conocer sobre el mundo de las torres eléctricas, las partes que forman, la importancia de su uso, analizar mediante el software SAP2000 y diseñar por tracción y compresión cada uno de sus elementos.

Palabras clave: Torres eléctricas; Análisis; Diseño; SAP200.

Methodology for the analysis and design of a type “S” tower for the transmission of self-supporting electricity for a 60KV line, in the district of San Juan de Lurigancho

ABSTRACT

This work aims to support the next generations of civil engineers to be able to analyze and design lattice towers with international manuals and those of our country. In this work, you will be able to learn about the world of electrical towers, the parts they form, the importance of their use, analyze using the SAP2000 software and design each of its elements by traction and compression.

Keywords: Electric towers; Analysis; Design; SAP200.

TABLA DE CONTENIDOS

1	TABLA DE CONTENIDO	
2	INTRODUCCIÓN.....	1
3	CAPÍTULO 1.....	2
3.1	GENERALIDADES	2
3.1.1	Planteamiento del problema.	2
3.1.2	Formulación del problema.....	3
3.1.3	Justificación del problema.....	3
3.1.4	Limitaciones de la investigación.	3
3.1.5	Objetivos de la investigación.....	4
4	CAPÍTULO 2.....	5
4.1	MARCO TEÓRICO.	5
4.1.1	Torre de transmisión de energía eléctrica.....	5
4.1.2	Tipos de torres de transmisión de energía eléctrica.....	5
4.1.3	Partes de una torre de transmisión de energía eléctrica.....	7
4.1.4	Dimensiones mínimas para la torre de transmisión de energía eléctrica.....	8
4.1.5	Resistencia de las secciones que componen las torres de transmisión de energía eléctrica.....	12
5	CAPÍTULO 3.....	18
5.1	REQUISITOS PARA EL DISEÑO.....	18
5.1.1	Tipos de carga.....	18
5.1.2	Esfuerzos en los conductores.....	19
5.1.3	Hipótesis de carga.....	20
5.1.4	Arboles de carga.	21
6	CAPÍTULO 4.....	22
6.1	ANÁLISIS DE CARGAS.	22
6.1.1	Análisis de carga por viento – Método americano.	22
6.1.2	Análisis de carga por viento – Método peruano.	24
6.1.3	Resultado del análisis de viento.	30

6.1.4	Análisis por carga de peso propio.....	31
6.1.5	Análisis por carga excepcionales.....	31
6.1.6	Combinación de cargas.....	32
7	CAPÍTULO 5.....	33
7.1	MODELAMIENTO EN SOFTWARE.....	33
7.1.1	Modelamiento en computador.....	33
7.1.2	Modelamiento en Autocad.....	33
7.1.3	Modelamiento en Sap2000.....	36
8	CAPÍTULO 6.....	65
8.1	DISEÑO DE ELEMENTOS.....	65
8.1.1	Diseño de elementos de acero.....	65
8.1.2	Diseño de cimientos.....	79
8.1.3	Resultado.....	89
9	CONCLUSIONES.....	90
9.1	ANÁLISIS DE LA TORRE DEBIDO A LA CARGA MUERTA, VIVA Y VIENTO.....	90
10	RECOMENDACIONES.....	92
11	BIBLIOGRAFÍA.....	93
12	ANEXO 1.....	94
13	ANEXO 2.....	95
14	ANEXO 3.....	103

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: METRADO DE TORRE ELÉCTRICA.....	53
---	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1: TIPO DE TORRES POR SU USO	6
FIGURA 2: TIPO DE TORRES POR SU GEOMETRÍA	6
FIGURA 3: TIPO DE TORRES POR SU CIMENTACIÓN	7
FIGURA 4: PARTES QUE COMPONEN LA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	8
FIGURA 5: DIMENSIONES MÍNIMAS DE UNA TORRE DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA	9
FIGURA 6: DISTANCIAS MÍNIMAS ENTRE CONDUCTORES.....	11
FIGURA 7: SELECCIÓN PARA LA APLICACIÓN DE LAS SECCIONES SOMETIDAS A FLEXIÓN	15
FIGURA 8: DIAGRAMA COMPRESIÓN - ESBELTEZ	16
FIGURA 9: RELACIÓN ANCHO-ESPESOR LÍMITE PARA ELEMENTOS EN COMPRESIÓN.....	17
FIGURA 10: TIPOS DE CARGAS.....	18
FIGURA 11: UBICACIÓN DE LAS ZONAS DE CARGA EN EL PERÚ.....	25
FIGURA 12: MAPA EÓLICO DEL PERÚ	28

2 INTRODUCCIÓN

El sector de energía eléctrica es importante para el crecimiento económico, ya que esto ocasiona que exista una gran inversión pública o privada. Así, este sector se convierte en un factor indispensable para el desarrollo de un país.

Asimismo, las infraestructuras para la transmisión de energía eléctrica son fundamentales en el sector eléctrico; ya que sin ellas, el sector eléctrico tendría problemas para el traslado de la energía generada. Estas infraestructuras que conducen la energía eléctrica a través de líneas de transmisión son las torres de transmisión, las cuales son autoportadas, y además deben de soportar las distintas cargas sometidas durante toda su vida útil.

Es importante mencionar que estas torres de transmisión son diseñadas para soportar diversas cargas, siendo la principal, las cargas de viento. También, cabe señalar que si falla algún elemento de la estructura, se podrían generar problemas económicos o sociales.

Un factor importante para el análisis y diseño de estas torres es la ubicación de este, ya que esto proporcionará la magnitud de los efectos climatológicos como el viento que la estructura soportará.

Por último, la siguiente tesis tiene como objetivo analizar y diseñar una torre de transmisión de energía eléctrica bajo el efecto de viento, con el interés de conocer cómo trabajan estas estructuras debido a la carga ya mencionada, y así poder aumentar el conocimiento del ingeniero civil, que actualmente tiene una noción pobre con respecto al diseño y análisis de estas estructuras, situación opuesta a estructuras tales como: edificios, carreteras y puentes.

3 CAPÍTULO 1

3.1 Generalidades

3.1.1 Planteamiento del problema.

Durante estos últimos veintitrés años, la industria del mercado eléctrico ha crecido a razón de una tasa anual de 7%, es por eso que el Estado peruano ha elaborado un Plan Energético Nacional 2014-2025 para asegurar la seguridad energética en el país.

Como ya se mencionó, el sector eléctrico en el país aumenta debido al crecimiento económico basado en la industria minera y afines a ella. Por eso, los proyectos en este rubro van en ascenso y para ello, se están incorporando grandes infraestructuras; tales como: centrales hidroeléctricas y torres de transmisión de energía eléctrica.

Entonces, para llevar a cabo estas estructuras, previamente se tendrá que hacer una evaluación de las mismas, por ejemplo, la del análisis y diseño. Además, es importante mencionar que estas estructuras requerirán de un grado de seguridad elevado por ser una obra que en caso de fallar podrían ocasionar pérdidas humanas, perjuicios económicos o culturas.

Sin embargo, en la actualidad, en el Perú, no se cuentan con normas para la evaluación de estas estructuras, por ejemplo, de las torres de transmisión de energía eléctrica. Es más, no se cuenta con mucha información concernientes a este tema, trayendo dificultades a los ingenieros civiles al momento de definir algunos parámetros para poder hacer un minucioso análisis y detallado diseño de estas estructuras debido a las cargas que soportan y los diversos factores naturales que interactúan en ellas

Por lo tanto, en este sentido, el problema radica en la falta de información y conocimiento acerca del análisis y diseño para asegurar una infraestructura adecuada, en este caso, las torres de transmisión de energía eléctrica que un ingeniero civil debería conocer para afrontar con estos tipos de trabajos.

Por este motivo, el objetivo de este trabajo de tesis es generar un aporte para el Análisis y Diseño de una torre de Transmisión eléctrica, ya que las torres son los elementos más importantes en una red de Transmisión. Y con ello, contribuir a futuro en proveer una herramienta de apoyo necesario para la complementación de los próximos ingenieros.

3.1.2 Formulación del problema.

La presente investigación pretende generar una herramienta de consulta para el análisis y diseño de una torre de transmisión de energía eléctrica debido a la falta de información que se tiene con respecto a esta área. Se pretende aclarar los procesos minuciosos y detallados del análisis y diseño, y juntar la información necesaria para poder proveer una herramienta de apoyo para los ingenieros civiles interesados en esta área.

En este sentido es conveniente formularnos estas interrogantes ¿Las normas peruanas vigentes nos ayudarán para poder hacer un correcto análisis y diseño de una torre de transmisión de energía eléctrica, en general? ¿Será necesario hacer un análisis y diseño de una torre de transmisión de energía eléctrica con los parámetros dados por normas extranjeras, tales como la ASCE 97-10?

3.1.3 Justificación del problema.

No existe una norma peruana de apoyo para poder elaborar trabajos como el análisis y diseño de torres de transmisión de energía eléctrica.

Existen diversas normas extranjeras para el análisis y diseño de torres de energía eléctrica, sin embargo, estas están dispersas y poco difundidas en nuestro país. Además, no se cuenta con el criterio necesario para poder trabajar con una norma en específico.

Es necesario difundir estos tipos de investigaciones para poder contribuir con el conocimiento al área de la ingeniería civil acerca de estos temas: análisis y diseño de torres de transmisión de energía eléctrica. Esto conllevará a que el ingeniero peruano tenga acceso a cómo hacer un minucioso y detallado análisis y diseño de estas estructuras, y dejar de lado la costumbre de no evaluar estas estructuras que ya vienen pre dimensionadas por las falta de conocimiento ya mencionados.

3.1.4 Limitaciones de la investigación.

Así pues, ya es necesario mencionar que existen una amplia gama de estructuras de torres de transmisión de energía eléctrica, las cuales se pueden clasificar por su uso, su carga de transmisión, su geometría, su tipo de cimentación, etc. Asimismo, es necesario indicar que para cada una de estas torres de transmisión de energía eléctrica, corresponden un análisis y diseño no tan parecido a las otras.

Por esta razón, nuestra investigación se centrará en hacer el análisis y diseño de una torre de transmisión de energía eléctrica, correspondiente a la clasificación por su uso, las cuales se clasifican en tres: por suspensión, retención y remate. Además se centrará en hacer el mismo análisis y diseño según su carga de voltaje.

En conclusión, la presente investigación se hará cargo de evaluar el análisis y diseño de una torre de transmisión de energía eléctrica de suspensión con una carga de 60kv.

3.1.5 Objetivos de la investigación.

3.1.5.1 Objetivos generales.

Analizar y diseñar una torre tipo “S” de transmisión de energía eléctrica autosoportada para una línea de 60kv en el distrito de San Juan de Lurigancho mediante la norma ASCE 97-10¹ y modelamiento en SAP2000²

3.1.5.2 Objetivos específicos.

- a) Identificar los tipos de torres de transmisión de energía eléctrica en el Perú.
- b) Conocer las diferentes partes que componen a una torre de transmisión de energía.
- c) Identificar los requisitos necesarios para el diseño de torres de transmisión, las cuales son: hipótesis de carga, cargas por la línea de transmisión y cargas por efecto de la naturaleza.
- d) Reconocer el tipo de cimentación para el tipo de torre de transmisión.
- e) Modelar la torre de transmisión de energía eléctrica mediante uso del software SAP2000.
- f) Analizar los elementos de la estructura debido al efecto de carga de viento.
- g) Reconocer los elementos en tracción y compresión.

¹ ASCE 97-10: American Society of Civil Engineers, Design of Latticed Steel Transmission Structures.

² SAP2000: Programa de elementos finitos para modelado, análisis y dimensionamiento de cualquier estructura.

4 CAPÍTULO 2

4.1 Marco teórico.

4.1.1 Torre de transmisión de energía eléctrica.

Son soportes metálicos que son ensamblados en un punto específico terrestre y que a la vez forman parte de la línea de transmisión eléctrica, los cuales son un conjunto de elementos que guían la energía eléctrica desde la fuente generadora de electricidad hasta los puntos de consumo.

Estas torres se pueden clasificar según su uso, forma o geometría, tipo de cimentación, resistencia, etc.

4.1.2 Tipos de torres de transmisión de energía eléctrica.

A continuación se verá algunos tipos de clasificaciones que se les hace a las torres de transmisión de energía eléctrica.

4.1.2.1 Tipo de torre por su uso.

Las torres por su uso se pueden clasificar en tres: **torres de suspensión, de retención y de remate.**

Primero, las torres de suspensión aparte de soportar el peso de los cables, cadenas de aisladores y transmitirlos a la estructura de fundación, tienen una característica bien importante, el cual es ser usada en los tramos rectos de la línea de transmisión.

Segundo, las torres de retención son aquellas, que al igual que las torres de suspensión, soportan cargas y las transmiten a la estructura de fundación, tienen otro tipo de características, el cual es ser usada en tramos donde se requiera un cambio de dirección de las líneas de transmisión, los cuales son necesarias para pasar obstáculos. Además, estas torres tienen una mayor apertura entre las patas para poder soportar los momentos de vuelco debido a las características señaladas.

Por último, las torres de remate son aquellas que van al inicio y al final de una línea de transmisión. Es por ello que soportan una carga longitudinal muy grande, la misma que ocasiona un momento de vuelco mayor con respecto a los demás tipos de torres, es por ello que este tipo de torres son las más robustas.

Figura 1: tipo de torres por su uso

Fuente: Diseño de torres de transmisión eléctrica – México DF

4.1.2.2 Tipo de torre por su geometría.

Las torres por su geometría se pueden clasificar en 7 grandes grupos: Torres piramidales de base cuadrada y patas, torres piramidales tipo mono bloque, torres piramidales tipo mono bloque atirantadas, torres piramidales y cabeza tipo cara de gato, torres tipo delta con tirantes, torre tipo delta con base piramidal y patas, y torres tipos pórticos.

Figura 2: tipo de torres por su geometría

4.1.2.3 Tipo de torre por su cimentación.

Las torres se clasifican según su cimentación en: soporte de fundación simple o única, de fundación doble y de fundación separada o independiente.

Primero, las torres con soporte de fundación simple o única, son usadas en postes pequeños y son en general hechas de hormigón.

Segundo, las torres con soporte de fundación doble, son usadas para grandes estructuras con mayores dimensiones.

Y por último, las torres con soporte de fundación separado o independiente son los soportes que experimentan esfuerzos de compresión, arrancamiento y volteo. Estos tipos de funciones son usadas principalmente para grandes torres.

Figura 3: tipo de torres por su cimentación

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Partes de una torre de transmisión de energía eléctrica.

Las torres de transmisión se componen en:

- Cúpula.
- Cabeza.
- Cuerpo piramidal.
- Patas.
- Extensión.
- Angulo de anclaje.

Además dentro de estas, se puede encontrar el hilo de guarda en la cúpula; y las crucetas y conductores en la cabeza.

Figura 4: partes que componen la torre de transmisión eléctrica

Fuente: Transmission Structures

4.1.4 Dimensiones mínimas para la torre de transmisión de energía eléctrica.

Como todo elemento, las torres tienen parámetros geométricos que pueden afectar a su diseño final. Por eso decimos que la geometría de la torre depende de:

- Altura determinada para aislar el conjunto.

- Distancias mínimas que deben mantenerse entre los conductores, y estos a la torre por seguridad.
- Ubicación del cable de tierra en relación a los conductores.
- Consideraciones del comportamiento dinámicos de los conductores.
- Distancia mínima del conductor más bajo sobre el nivel del suelo.

Figura 5: Dimensiones mínimas de una torre de transmisión eléctrica

Fuente: Design of Steel Structures

a) ALTURA TOTAL DE UNA TORRE

$$H = H1 + H2 + H3 + H4$$

b) DISTANCIA MÍNIMA PERMITIDA AL SUELO – H 1

Estas distancias son proporcionales a las potencias que la torre soportará. Por ejemplo, para una torre que sea proyectada para transmitir una potencia de 66kV, la distancia mínima será

de 5.50m. Por otra parte, cabe señalar que los datos puestos a continuación son para torres que se proyectarán en zonas libres, o sea, fuera de la ciudad, pueblos u/o comunidades. En caso contrario, si las torres son proyectadas dentro de un área donde hay presencia de comunidades, se le añadirá un factor de importancia, que usualmente son de 1.5 a 2.5, el cual aumentará esta distancia mínima.

- 66kV – 5.50 m
- 132kV – 6.00 m
- 230kV – 7.00 m
- 400kV – 8.80 m

c) DISTANCIA MÍNIMA ENTRE CONDUCTORES – H 3

Estas distancias son importantes ya que sin ellas, hay un riesgo que los cables que están conectados a los conductores tengan choques bruscos debido a la fuerza de viento que pueda existir en la zona. Para ello, en el siguiente cuadro, se especifica las distancias mínimas entre conductores de forma vertical como horizontal.

Tipo de Torre	Espaciado Vertical Entre Conductores (Metros)	Espaciado Horizontal Entre Conductores (Metros)
1. 66 kv: Circuito Simple		
A(0-2°)	1,03	4,04
B(2-30°)	1,03	4,27
C(30-60°)	1,22	4,88
2. 66 kv: Circuito Doble		
A(0-2°)	2,17	4,27
B(2-30°)	2,06	4,88
C(30-60°)	2,44	6
3. 132 kv: Circuito Simple		
A(0-2°)	4,2	7,14
B(2-15°)	4,2	6,29
C(15-30°)	4,2	7,15
D(30-60°)	4,2	8,82
4. 132 kv: Circuito Doble		
A(0-2°)	3,965	7,02
B(2-15°)	3,965	7,32
C(15-30°)	3,965	7,32
D(30-60°)	4,27	8,54
5. 230 kv: Circuito Simple		
A(0-2°)	5,2	8,5
B(2-15°)	5,25	10,5
C(15-30°)	6,7	12,6
D(30-60°)	7,8	14
6. 230 kv: Circuito Doble		
A(0-2°)	5,2	9,9
B(2-15°)	5,2	10,1
C(15-30°)	5,2	10,5
D(30-60°)	6,75	12,6

Figura 6: Distancias mínimas entre conductores

Fuente: Design of Steel Structures

d) ANCHO DE LA BASE

El ancho de la base fue investigada por P.J. Ryle, quién determino que el ancho de la base es proporcional a la raíz cuadrada del momento de vuelco.

$$B = 0.0782\sqrt{M} + 1.0 \quad (\text{Ancho de base para una torre de anclaje})$$

$$B = 0.0691\sqrt{M} + 0.7 \quad (\text{Ancho de base para torres de suspensión})$$

Dónde:

B: Ancho de la base en metros.

M: Momento de vuelco sobre el nivel del suelo en toneladas-metros.

e) ANGULO PERMISIBLE PARA EL CUERPO PIRAMIDAL DE LA TORRE

El ángulo recomendable para el cuerpo piramidal de la torre está entre 5 a 10 grados.

f) PESO ESTIMADO DE UNA TORRE

Según las investigaciones de P.J. Ryle, el peso de la estructura se podrá calcular de la siguiente manera:

$$w = k_R H \sqrt{M}$$

Dónde:

W: Es el peso estimado.

H: Es la altura de la torre en metros.

M: Es el momento de vuelvo, en toneladas-metro.

Kr: Es una constante que varía aproximadamente 0.0056 a 0.011.

Es importante mencionar que el peso de la estructura será desconocida hasta que el diseño real esté completado, sin embargo, el supuesto que se hace líneas arriba es necesario. Por otro lado, el peso real dependerá de la disposición de los arriostres que se adopte y de la calidad o cualidad del acero a utilizar.

4.1.5 Resistencia de las secciones que componen las torres de transmisión de energía eléctrica.

La resistencia de las secciones depende de los miembros armados, siendo estos la unión de los perfiles utilizados en la estructura de manera que estos actúen como un solo miembro. Para ello existen requisitos necesarios que tienen que cumplir las secciones ya que estos se encontrarán sometidos a esfuerzos como compresión y tracción. Los perfiles son necesarios para cumplir requisitos de área, rigidez, resistencia; también un adecuado ancho o peralte para la conexión a otras secciones.

Una ventaja muy importante de los miembros armados es que pueden soportar, sin ningún problema, esfuerzos de compresión y tracción. Lo cual se requiere en dichas estructuras donde pueden presentarse inversión de esfuerzos.

4.1.5.1 Filosofía de diseño.

Casi todas las estructuras de acero existentes se diseñan con el método elástico. Se estima las cargas de trabajo o servicio y se diseñan los miembros estructurales con base a los esfuerzos permisibles. Normalmente estos esfuerzos son es una porción del esfuerzo mínimo de fluencia especificado del acero, además se ha visto que la ductilidad del acero proporciona

una mayor reserva de resistencia y esta es la razón por la que se le denomina diseño plástico. En este método, las cargas de trabajo se estiman y se multiplican por ciertos factores de carga o de sobrecapacidad y los elementos estructurales se diseñan entonces con base en sus resistencias al colapso.

A) Método LRFD

En el método de diseño por esfuerzos permisibles (DEP ó ASD) usa el mismo factor de carga o seguridad para cargas muertas y vivas, mientras que el método del diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) usa un factor de carga o de seguridad mucho menor para las cargas muertas, ya que las cargas vivas ahora pueden determinarse con mayor exactitud. En consecuencia, la comparación del peso para el diseño en ambos métodos solo dependerá de los factores que se le asignen a las cargas vivas y muertas. Por lo tanto, el diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) es un poco más conservador.

B) Especificaciones AISC 360-05

El propósito fundamental de las disposiciones AISC (Sociedad Americana de Constructores en Acero) es la determinación de la resistencia nominal y disponible de los miembros, conexiones y otros componentes de las estructuras en acero, así se ha tomado dicha norma como guía específica de diseño de la torre AR2-C4, de la misma que en lo posterior se hará énfasis a los diseños pertinentes a la estructura en tratamiento, de lo que se puede notar se respetara los siguientes enunciados:

- En relación a las especificaciones publicadas en su edición trece de marzo 09 del 2005, se establecerá el diseño de la Torre AR2-C4 tanto para el sistema estructural en acero como para los componentes de conexión.
- Las disposiciones consideran que no es necesario verificar el diseño a fatiga en el caso de estructuras diseñadas adecuadamente para resistir cargas laterales como de sismo o viento, lo cual se excluirá en el diseño de la Torre AR2-C4 ya que la misma representa un diseño elevado para dichas cargas.

- Se suministrará estabilidad tanto para la estructura como para todos y cada uno de sus miembros cumpliendo las disposiciones de los Capítulos E, F, G, H, J de la norma tratada.
- A más de los estados límites de resistencia, se verificará los determinados por requisitos funcionales, en este caso el máximo desplazamiento lateral relativo; de acuerdo con las disposiciones de las normas pertinentes en cuanto a las deflexiones permisibles de torres reticulares.
- Se procurará evitar problemas de pandeo local en los componentes haciendo uso de secciones compactas, según se define.
- Las cargas y combinaciones de cargas para diseños LRFD, se aplican según las combinaciones de ASCE 7.
- El diseño de miembros y conexiones será consistente con el comportamiento que se espera que tenga el sistema estructural, en este caso en relación de la torre de línea de transmisión AR2-C4 la misma que será dotada de resistencia y estabilidad mediante cualquier combinación de miembros y conexiones prevista.
- La resistencia requerida será determinada mediante análisis estructural según las combinaciones de carga correspondientes.
- Se utilizará Factores para las combinaciones de cargas LRFD apropiadas, en este caso las combinaciones pertinentes a los requerimientos a ser analizados posteriormente determinados por TRANSELECTRIC, EP, las mismas que estipulan cargas ultimas, ya de diseño.
- En cuanto a las especificaciones de materiales se tomará en relación a los requerimientos perfiles laminados al caliente y bajo la certificación ASTM A572/ A572M, la misma que se encuentra entre las normativas de la AISC y es reconocida por sus capacidades altamente resistentes.

4.1.5.2 Tipos de resistencia.

Como ya se mencionó, los tipos de resistencia son: resistencia a tracción y a compresión.

A) Resistencia a la tracción.

La resistencia de diseño en tracción, de miembros solicitados a tracción debe ser el menor valor obtenido de acuerdo a los estados límite de fluencia en tracción en la sección bruta y fractura en tracción en la sección neta.

(i) Para fluencia en tracción en la sección bruta:

$$P_n = F_y A_g$$

$$\phi_t = 0.90$$

(ii) Para fractura en tracción en la sección neta:

$$P_n = F_u A_e$$

$$\phi_t = 0.75$$

A_e : Área neta efectiva, cm^2 .

A_g : Área bruta del miembro, cm^2 .

F_y : Tensión de fluencia mínima especificada del tipo de acero utilizado, kgf/cm^2 .

F_u : Tensión última mínima especificada del tipo de acero utilizado, kgf/cm^2 .

Para flexión simple, el Angulo es cargado en un plano paralelo al eje principal que pasa a través del centro de corte o es restringido al giro en los puntos de carga y los apoyos

Selección para la Aplicación de las Secciones				
Tipo Sección	Sección	Esbeltez Ala	Esbeltez Alma	Estados Limite
F10		N/A	N/A	Y,LTB,LLB
Y=Fluencia, LTB=Pandeo Lateral Torsional, LLB=Pandeo Local Ala				

Figura 7: Selección para la aplicación de las secciones sometidas a flexión

B) Resistencia a la compresión.

El esfuerzo bajo el cual se pandea el elemento obviamente decrece conforme se hace más largo. Después de que alcanza una cierta longitud, ese esfuerzo se habrá reducido al

límite proporcional del acero. Para esa longitud y longitudes mayores, el esfuerzo de pandeo será elástico.

Figura 8: Diagrama compresión - esbeltez

Así en 1757, Leonhard Euler, un matemático suizo, planteó la fórmula que determina la carga que pueden los elementos a compresión resistir sin pandearse.

$$P = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$$

Donde:

P : Carga de Euler a compresión.

E : Módulo de elasticidad del acero.

I : Inercia de la sección del elemento.

Relación Ancho-Espesor Límite para Elementos en Compresión						
Elementos no Atiesados	Caso	Descripción del Elemento	Razón Ancho-Espesor	Razones Ancho – Espesor Límites		Ejemplo
				λ_p (compacto)	λ_r (no compacto)	
	6.		Flexión en alas de ángulos simples	b/t	$0.54 \sqrt{E/F_y}$	$0.91 \sqrt{E/F_y}$

Figura 9: Relación ancho-espesor límite para elementos en compresión

5 CAPÍTULO 3

5.1 Requisitos para el diseño.

5.1.1 Tipos de carga.

Las estructuras de torres de transmisión cumplen con dos funciones, transmitir la energía eléctrica y poder soportar las diversas cargas que la aquejan, las cuales pueden ser producidas por la misma línea de transmisión y por el efecto de la naturaleza.

En las cargas producidas por la línea de transmisión se encuentran las cargas verticales, las cuales son el peso propio de la estructura y los pesos superpuestos como la nieve retenida en la misma; las cargas transversales, las cuales son originadas por la presión de viento en los mismos cables y en la estructura; y por ultima, las cargas longitudinales, producidas por los desniveles entre torres.

En las cargas por efecto de la naturaleza se encuentran las cargas de viento, las cargas de sismo y las cargas especiales. Cabe resaltar que las cargas de viento son la más importante al momento de hacer el diseño de una torre de transmisión. También, en las cargas especiales encontramos lo que son las cargas de seguridad, las cuales brindar una estabilidad de seguridad para los trabajadores, por último, las cargas por construcción y mantenimiento.

Figura 10: tipos de cargas

Fuente: Design of Steel structures

5.1.1.1 Cargas de viento.

Las diversas estructuras deben ser analizadas correctamente por viento debido a que estas, las estructuras, tienen diversas formas de interactuar con el viento. Estas diversas formas son debido a las características de la estructura, tales como: su forma y su altura.

5.1.1.2 Cargas por peso propio.

Para este tipo de carga se tendrá presente el tipo de perfil a utilizar, placas, las juntas apernadas, y todos los elementos que forman la torre piramidal.

5.1.1.3 Cargas excepcionales.

Estas cargas son denominadas extremas, ya que las fuerzas que se identifican aquí son muy elevadas y poco probables que sucedan, por ejemplo, la ruptura de los conductores y del cable de guarda. Para estas cargas, se tendrá que utilizar factores de seguridad bajo el criterio del ingeniero.

5.1.2 Esfuerzos en los conductores.

Estos esfuerzos se originan debido a las cargas ya planteadas anteriormente (cargas de viento, peso propio y cargas excepcionales), además, también depende del valor del vano regulador que existe en un tramo definido. Asimismo, si este valor es reducido, la tensión estará definido en gran parte a las condiciones de temperatura mínima. En cambio, si el vano regulador es grande, la tensión máxima se presentará para vientos máximos. Así pues, las condiciones de temperatura mínima y vientos máximos no tendrán que superar el límite elástico del conductor ya que podría ocasionar deformaciones permanentes.

En general, se induce la participación de esfuerzos en los conductores debido las condiciones ya mencionadas y estos son: cargas verticales, cargas transversales y cargas longitudinales.

5.1.2.1 Cargas verticales.

En estas cargas están contempladas los pesos de los conductores, aisladores, accesorios y amortiguadores que están aplicados en los puntos de suspensión o retención de cada fase o hilo de guardia.

5.1.2.2 Cargas transversales.

Estas cargas son causadas debido a la presión del viento sobre los conductores, cables de guardia, aisladores y también a la estructura metálica. Para estas cargas se toman las siguientes consideraciones:

- El viento se considera 90° con respecto al eje de la línea o a la normal de la bisectriz del ángulo de la línea.
- Se considera un factor de ráfaga.
- La carga de viento se considera normal al plano vertical que contiene el vano.

5.1.2.3 Cargas longitudinales.

Estas cargas son originadas debido a la diferencia entre tensiones que hay entre vanos adyacentes aplicados en los puntos de anclaje de los conductores y cable de guardia. Asimismo, estas cargas son debido a la acción del viento longitudinalmente sobre el conductor o cable de guardia.

5.1.3 Hipótesis de carga.

Estas hipótesis se llevan a cabo en condiciones finales de carga del conductor, en dónde cada hipótesis supone comportamientos distintos de variación de cargas. Además todas las hipótesis están dependiendo de factores tales como: ubicación geográfica, altura del terreno, velocidad promedio del viento, separación entre torres, voltaje de transferencia, diámetro y materiales del conductor, entre otros. Asimismo, es importante mencionar que estas hipótesis de cargas se plantean de acuerdo a condicionales reales, las cuales pueden ser, por ejemplo, para torres de suspensión tipo “S”, 6 hipótesis, las cuales las veremos en breve.

Por último, es menester señalar que casi siempre un ingeniero eléctrico pone a disposición del ingeniero estructural las cargas externas de diseño que se transmiten directamente a la torre, el cual cargará con la responsabilidad de hacer el diseño respectivo de la estructura.

5.1.3.1 Hipótesis 1 – Condición normal: Máximo viento transversal.

En este caso se considera una presión máxima de viento sobre los conductores y cables sanos, así como también, la presión del viento sobre la estructura. Además, no hay cargas longitudinales.

5.1.3.2 Hipótesis 2 – Condición excepcional: Rotura del cable.

En este caso se considera la rotura de cable de fibra óptica, sin viento. Además que la fuerza aplicada tendrá un valor del 50% de la máxima tensión del cable. Por último, estas fuerzas en esta condición serán determinadas en sus componentes longitudinales y transversales.

5.1.3.3 Hipótesis 3 – Condición excepcional: Rotura del conductor fase superior.

En este caso se considera la rotura de un conductor, sin viento. Además que la fuerza aplicada tendrá un valor del 50% de la máxima del conductor superior. Por último, estas fuerzas en esta condición serán determinadas en sus componentes longitudinales y transversales.

5.1.3.4 Hipótesis 4 – Condición excepcional: Rotura del conductor fase media.

En este caso se considera la rotura de un conductor, sin viento. Además que la fuerza aplicada tendrá un valor del 50% de la máxima del conductor medio. Por último, estas fuerzas en esta condición serán determinadas en sus componentes longitudinales y transversales.

5.1.3.5 Hipótesis 5 – Condición excepcional: Rotura del conductor fase inferior.

En este caso se considera la rotura de un conductor, sin viento. Además que la fuerza aplicada tendrá un valor del 50% de la máxima del conductor inferior. Por último, estas fuerzas en esta condición serán determinadas en sus componentes longitudinales y transversales.

5.1.3.6 Hipótesis 6 – Condición de montaje.

En este caso se considera la carga de montaje. En esta condición se considera cargas verticales iguales al doble de las cargas verticales en condición normal.

5.1.4 Árboles de carga.

Este punto hace referencia a los diagramas de cargas que surgen de las diferentes hipótesis planteadas en el análisis de una torre, en donde se muestran las diversas cargas verticales, transversales y longitudinales que existen en la estructura. (Ver anexo 1)

6 CAPÍTULO 4

6.1 Análisis de cargas.

6.1.1 Análisis de carga por viento – Método americano.

Para este análisis de carga tenemos que tener en cuenta que las presiones del viento actuantes tendrán un efecto dinámico sobre la estructura en estudio, o sea, las torres de tensión. Dichas presiones se obtienen de la siguiente manera, con la siguiente expresión:

$$P_z = F_g C_a q_z$$

Dónde:

P_z: Es la presión dinámica equivalente a la altura z, que se aplica en forma estática, en Kpa

F_g: Es el factor de respuesta dinámica, adimensional.

C_a: Es el coeficiente de arrastre de la altura en la dirección del flujo del viento adimensional

q_z: Es la presión dinámica de base a una altura z sobre el nivel del terreno, en metros.

6.1.1.1 Factor de ráfaga.

El factor de ráfaga tendrá las siguientes variantes:

$F_g = \frac{1}{g_z^2} \left[1 + 12.86 \sqrt{K} \left(\frac{10}{h_o} \right)^{\alpha'} \left(\frac{1}{1 + 0.563 \frac{h_o}{L_s}} \right)^{\frac{1}{2}} \right]$	<table><tr><th>Terreno tipo</th><th>K</th><th>Ls</th><th>α'</th></tr><tr><td>1</td><td>0.0030</td><td>72.10</td><td>0.121</td></tr><tr><td>2</td><td>0.0065</td><td>63.70</td><td>0.164</td></tr><tr><td>3</td><td>0.0142</td><td>53.50</td><td>0.216</td></tr><tr><td>4</td><td>0.0318</td><td>44.50</td><td>0.262</td></tr></table>	Terreno tipo	K	Ls	α'	1	0.0030	72.10	0.121	2	0.0065	63.70	0.164	3	0.0142	53.50	0.216	4	0.0318	44.50	0.262										
Terreno tipo	K	Ls	α'																												
1	0.0030	72.10	0.121																												
2	0.0065	63.70	0.164																												
3	0.0142	53.50	0.216																												
4	0.0318	44.50	0.262																												
$g_z = \frac{1 - \left\{ 0.6226 \left[k \left(\frac{z}{\delta} \right)^{\eta} - \xi \right]^{1.2716} * \ln \left(\frac{3}{3600} \right) \right\}}{1 - \left\{ 0.6225 \left[k \left(\frac{z}{\delta} \right)^{\eta} - \xi \right]^{1.2716} * \ln \left(\frac{600}{3600} \right) \right\}}$	<table><tr><th></th><th colspan="4">Categoría del terreno</th></tr><tr><th></th><th>1</th><th>2</th><th>3</th><th>4</th></tr><tr><td>k</td><td>0.391</td><td>0.382</td><td>0.369</td><td>0.363</td></tr><tr><td>η</td><td>-0.032</td><td>-0.054</td><td>-0.096</td><td>-0.151</td></tr><tr><td>ξ</td><td>0.295</td><td>0.265</td><td>0.227</td><td>0.195</td></tr><tr><td>δ</td><td>245</td><td>315</td><td>390</td><td>455</td></tr></table>		Categoría del terreno					1	2	3	4	k	0.391	0.382	0.369	0.363	η	-0.032	-0.054	-0.096	-0.151	ξ	0.295	0.265	0.227	0.195	δ	245	315	390	455
	Categoría del terreno																														
	1	2	3	4																											
k	0.391	0.382	0.369	0.363																											
η	-0.032	-0.054	-0.096	-0.151																											
ξ	0.295	0.265	0.227	0.195																											
δ	245	315	390	455																											

g_z : Factor de ráfaga variable según la altura z, es adimensional.

Z: Altura a la cual se quiere determinar la presión dinámica equivalente en kg/m2.

g_o : Factor de ráfaga a la altura de referencia h_o .

h : Altura total de la estructura sobre el nivel del terreno, en metros.

h_o : Altura de referencia de la estructura en metros.

α' : Factor de variación de potencia para un tiempo de premediación de 10 minutos, es adimensional.

L_s : Escala de turbulencia del viento, en metros, según la categoría del viento.

K : Factor de rugosidad del terreno, es adimensional, según la categoría del terreno.

f_t : Frecuencia fundamental de la estructura, en Hz.

V_{D0} : Velocidad de diseño del viento a la altura de referencia h_0 , en km/h.

ε : Amortiguamiento de la estructura, expresado como fracción del crítico. Este valor debe incluir el amortiguamiento estructural y el aerodinámico. Los valores de este coeficiente para postes y torres de celosía se pueden estimar en 0.05 y 0.015 respectivamente.

6.1.1.2 Presión dinámica de base.

En este punto se aclarará la obtención de este factor, el cual es:

$q_z=0,0000471 \cdot G \cdot V_d^2$	$G = \frac{2.94 \Omega}{273 + \tau}$	<table><tr><th>Altitud (msnm)</th><th>Presión Barométrica (kPa)</th></tr><tr><td>0</td><td>101.32</td></tr><tr><td>500</td><td>95.99</td></tr><tr><td>1000</td><td>89.92</td></tr><tr><td>1500</td><td>84.66</td></tr><tr><td>2000</td><td>79.99</td></tr><tr><td>2500</td><td>75.33</td></tr><tr><td>3000</td><td>70.66</td></tr><tr><td>3500</td><td>65.99</td></tr></table>	Altitud (msnm)	Presión Barométrica (kPa)	0	101.32	500	95.99	1000	89.92	1500	84.66	2000	79.99	2500	75.33	3000	70.66	3500	65.99
Altitud (msnm)	Presión Barométrica (kPa)																			
0	101.32																			
500	95.99																			
1000	89.92																			
1500	84.66																			
2000	79.99																			
2500	75.33																			
3000	70.66																			
3500	65.99																			

Nota: Así, con todos estos parámetros ya vistos, desde los factores de ráfaga hasta la presión dinámica de base, es como se obtiene la presión dinámica de viento sobre la estructura correspondiente a cada altura de la torre.

6.1.2 Análisis de carga por viento – Método peruano.

Para este análisis de carga, las cargas de viento horizontales o presiones debidas al viento deberán aplicarse a las áreas proyectadas que están siendo sostenidos y a las estructuras de soporte y aisladores.

- ***SEGÚN EL CÓDIGO NACIONAL DE ELECTRICIDAD***

Para este análisis, la presión de viento según la CNE (código nacional de electricidad) será:

$$P_v = K \times V^2 \times S_f \times A_g$$

Dónde:

P_v: Presión del viento en N

K: Constante de presión

K = 0,613 para las elevaciones hasta 3 000 m.s.n.m.

K = 0,455 para las elevaciones mayores de 3 000 m.s.n.m.

V: Velocidad de viento en m/s

S_f: Factor de forma, para celosía S_f = 3,2.

A: Área proyectada en m²

- ***SEGÚN EL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES (E.020)***

Sin embargo, la presión de viento según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-E 0.20), es:

$$P_v = 0.005 \times C \times V^2$$

P_v: Presión del viento a una altura h en kg/m²

C: Factor de forma adimensional

V: Velocidad de diseño a una altura h, en km/h

6.1.2.1 Presión del viento según el CNE (Código Nacional de Electricidad).

6.1.2.1.1 Mapa eólico peruano según el CNE.

En el siguiente mapa podremos apreciar las distintas variaciones de la velocidad horizontal del viento. Ver figura 11

Viento y temperatura para las zonas de carga A, B y C (Para ser utilizado con la Regla 250.B)			
Zona de Carga	A Ligera	B Regular	C Fuerte
Velocidad horizontal del viento	19,5 m/s (70 km/h)	22,2 m/s (80 km/h)	25 m/s (90 km/h)
Temperatura	20 °C	15 °C	10 °C

Viento, hielo y temperatura para las áreas de carga 1, 2 y 3 (Para ser utilizado con la Regla 250.B)				
Zona de carga	Área 0 elevación menor de 3 000 m.s.n.m.	Área 1 elevación 3 000-4 000 m.s.n.m.	Área 2 elevación 4 001-4 500 m.s.n.m.	Área 3 elevación a partir de 4 500 m.s.n.m.
Caso de sólo viento				
Velocidad horizontal del viento	26 m/s (94 km/h)	29 m/s (104 km/h)	31,5 m/s (113 km/h)	33,5 m/s (120 km/h)
Temperatura °C	10 °C	5 °C	0 °C	-5 °C
Caso de sólo hielo				
Grosor radial del hielo mm	No hay	6 mm	25 mm	50 mm
Temperatura	0 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C
Caso combinado de hielo y viento				
Grosor radial del hielo	No hay	3 mm	12 mm	25 mm
Velocidad horizontal del viento	14 m/s (50 km/h)	14,5 m/s (52 km/h)	15,5 m/s (56 km/h)	17 m/s (61 km/h)
Temperatura	5 °C	0 °C	-5 °C	-10 °C

Fuente: Ministerio de energía y minas

Entonces bien, una vez conocido los detalles para el análisis del viento, presentaremos la siguiente citación para comprender como se procederá el análisis posterior de estas estructuras correspondiente a la velocidad de viento:

“... Podrán utilizarse valores diferentes siempre y cuando se disponga del sustento técnico de un estudio de ingeniería reconocido por los años de experiencia suficientes para garantizar la vida de la instalación dentro de los estándares internacionales...”

“... En el caso de la costa de Lima, hasta una altitud de 1000 m.s.n.m., podrá continuarse utilizando una velocidad de 50 km/h, mientras los estudios de vientos no indiquen lo contrario.”

En tal caso, se trabajará con una velocidad de 50 km/h para determinar la presión de viento sobre la estructura. Tenemos que tener en cuenta que la velocidad propuesta por el Senamhi es mucho menor que la velocidad propuesta por el Código Nacional de Electricidad, por eso, se seguirá trabajando con 50 km/h.

$$P_v = K \times V^2 \times S_f \times A_g$$

$$P_v = 0,613 \times 13,89^2 \times 3,2 \times A_i$$

$$P_v = 378,39N \times A_i$$

$$P_v = 38,6 \frac{kg}{m^2} \times A_i$$

6.1.2.2 Presión del viento según el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE-E.20).

6.1.2.2.1 Mapa eólico peruano según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.020.

En este punto tomaremos como referencia la velocidad horizontal según la E.020, y analizaremos la posibilidad de utilizar estos valores para el diseño de la torre.

A continuación se mostrará el mapa eólico del Perú

Figura 12: Mapa eólico del Perú

Fuente: Reglamento Nacional de Edificación – E.020

6.1.2.2.2 Velocidad de diseño y carga exterior de viento.

En el siguiente punto veremos la variación de viento que considera el reglamento; ya que la velocidad mínima que considera este, es de 75 km/h para una altura de no menos de 10 m.

Para la variación del viento para estructuras mayores a los 10 m, el reglamento nos dice que la variación es:

$$V_h = V \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

Y para el cálculo de la presión de viento, la norma nos menciona sus propios parámetros, para ello, veremos el siguiente cuadro para determinar el factor de forma adimensional.

CONSTRUCCIÓN	BARLOVENTO	SOTAVENTO
Superficies verticales de edificios	+0.8	-0.6
Anuncios, muros aislados, elementos con una dimensión corta en la dirección del viento	+1.5	
Tanque de agua, chimeneas, y otros de sección circular o elíptica	+0.7	
Tanque de agua, chimeneas, y otros de sección cuadrada o rectangular	+2.0	
Arcos y cubiertas cilíndricas con un ángulo de inclinación que no exceda 45°	+/-0.8	-0.5
Superficies inclinadas a 15° o menos	+0.3 -0.7	-0.6
Superficies inclinadas entre 15° y 60°	+0.7 -0.3	-0.6
Superficies inclinadas entre 60° y la vertical	+0.8	-0.6
Superficies verticales o inclinadas (planas o curva) paralelas a la dirección del viento	-0.7	-0.7
*El signo positivo indica presión y el negativo succión		

Fuente: RNE-E.020

Entonces, siguiendo con el cálculo, pasaremos a calcular la presión del viento, teniendo en cuenta que primero se tendrá que alterar la velocidad de viento horizontal debido a que la torre tiene una altura de 20m aproximadamente.

$$Vh = V \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$$

$$Vh = 75 \times \left(\frac{20}{10}\right)^{0.22}$$

$$Vh = 87.35 \frac{km}{h}$$

$$Pv = 0.005 \times C \times V^2$$

$$Pv = 0.005 \times 0.8 \times 87.35^2$$

$$Pv = 30.52 \frac{kg}{m^2}$$

6.1.3 Resultado del análisis de viento.

A continuación se mostrarán los resultados evaluados con el fin de utilizar una sola herramienta para el análisis y diseño de la torre de transmisión.

FUENTES	VELOCIDAD BÁSICA	VELOCIDAD MODIFICADA	PRESIÓN DE VIENTO	RESULTADO
CNE	50 km/h	$Vh = 50 \text{ km/h}$	$Pv = K \times V^2 \times Sf \times Ag$	$Pv = 38,6 \frac{kg}{m^2}$
RNE –E 0.20	75 km/h	$Vh = V \times \left(\frac{h}{10}\right)^{0.22}$ $Vh = 87.35 \text{ km/h}$	$Pv = 0.005 \times C \times V^2$	$Pv = 30.52 \frac{kg}{m^2}$

Tabla 2: Resultados de presión de viento

Fuente: Elaboración propia

En conclusión, como podemos apreciar en el cuadro de resultados para el análisis del viento, podemos apreciar que indudablemente, se podría usar la velocidad más desfavorable, la cual nos indica que usemos el RNE; sin embargo, los resultados finales de la presión que va a soportar la torre es menor a la presión ofrecida por el CNE (Código Nacional de

Electricidad), la cual tenemos que hacer mención que su velocidad propuesta al comienzo fue menor al RNE-E.020.

En resumen, se elaborará el análisis de viento según lo expuesto por el CNE (Código Nacional de Electricidad) debido a ser la más desfavorable.

6.1.4 Análisis por carga de peso propio.

Estas cargas por lo general varían debido a la variación de la altura y los pesos de los conductores. Entonces, para este análisis se tomará en cuenta los pesos de los conductores que serán constantes, el peso de la estructura que dependerá de las dimensiones finales que tendrá el elemento, y por último, las tensiones del conductor.

Como ya lo mencionamos, las cargas del peso propio son las siguientes: Cargas verticales debido a la masa de la torre; cargas verticales debido a la masa de las cadenas de aisladores, herrajes y accesorios; y las cargas verticales debido a la masa de los cables conductores y de guarda.

Para el análisis por peso propio, se tomó en cuenta el peso de la estructura, en dónde se toman los pesos de las placas, las juntas apernadas, conductores, aisladores, etc. Para ello, se tomó información de las investigaciones de P.J. Ryle, el cual indica la aproximación del peso de la estructura, el cual se podrá calcular de la siguiente manera:

$$w = k_R H \sqrt{M}$$

Dónde:

W: Es el peso estimado.

H: Es la altura de la torre en metros.

M: Es el momento de vuelco, en toneladas-metro.

Kr: Es una constante que varía aproximadamente 0.0056 a 0.011.

6.1.5 Análisis por carga excepcionales.

Estas cargas son denominadas extremas, ya que las fuerzas que se identifican aquí son muy elevadas y poco probables que sucedan, por ejemplo, la ruptura de los conductores y del

cable de guarda. Para estas cargas, se tendrá que utilizar factores de seguridad bajo el criterio del ingeniero.

6.1.6 Combinación de cargas.

Estas combinaciones nos proporcionan los posibles efectos desfavorables que puede sufrir la estructura, por eso se amplifican las cargas.

Combinaciones	Carga muerta	Carga viva o excepcionales	Carga de viento
1	1,4		
2	1,2	1,6	
3	1,2	1,6	0,5
4	1,2	0,5	1,0

Elaboración: propia

De acuerdo a lo mostrado, nuestra torre tendrá la combinación de carga correspondiente a la hipótesis de carga para un tendido en suspensión, las cuales serán de un aproximado de 60 combinaciones.

7 CAPÍTULO 5

7.1 Modelamiento en software.

7.1.1 Modelamiento en computador.

Hoy en día, el cambio brusco que ha potenciado a la tecnología hace posible realizar y diseñar las estructuras de acero. Hoy los programas de elementos finitos, son la herramienta típica en el análisis de torres y demás estructuras a partir de cargas concebidas, gracias a ello se puede reducir considerablemente el tiempo requerido y enfatizar el desarrollo de varias alternativas basadas en los conceptos técnicos básicos.

Es menester mencionar que de nada sirve que el programa sea eficiente y produzca estructuras más económicas, sin que exista el buen juicio del diseñador, planteando el diseño en base fundamental

El modelamiento en computador constará de 2 partes para facilitar el análisis. La primera parte es el dibujo de la torre en Autocad. Y como segundo paso, el análisis en SAP2000.

7.1.2 Modelamiento en Autocad.

En este punto se tendrá que tener algunas consideraciones; ya que según el proyecto mencionado en el primer capítulo (sistema eléctrico de transporte masivo de Lima y Callao Línea 1 – Tramo 2 – Av. Grau – San Juan de Lurigancho) se tiene dimensiones de la torre en proceso de evaluación. Entonces, en el siguiente subcapítulo, se dibujará la torre optimizando sus dimensiones para obtener mejores resultados tanto económicos como técnicos, y para ello se aprovechó las herramientas ya mencionadas en el capítulo 2- subcapítulo 4 (dimensiones mínimas para la torre de transmisión de energía eléctrica)

Fuente: elaboración propia

TIPO DE ESTRUCTURA		"S"
DIMENSIONES	A (m)	1,5
	B (m)	3,0
	Hs (m)	13,0
	Cr1 (m)	2,0
	Cr2 (m)	2,0
	Beta (°)	5°
	a (m)	1,0
	b (m)	1,0

Fuente: elaboración propia

7.1.3 Modelamiento en Sap2000.

7.1.3.1 Diagrama de árbol de cargas.

Para el modelamiento en SAP2000 se tendrá que tener presente el diagrama de carga que actuará en la estructura los cuales son 6 casos. Cabe resaltar que estas cargas fueron proporcionadas por la empresa encargada de hacer el proyecto.

Fuente: elaboración propia

7.1.3.2 Parámetros iniciales.

Antes de iniciar con el análisis correspondiente, tenemos que tener presentes algunos parámetros para el modelamiento en SAP2000, los cuales serán mencionados a continuación:

- Todos los elementos deben ser subdivididos en las intersecciones con otros elementos para que el programa, que es el SAP2000, compute los esfuerzos y desplazamientos de estos nudos al crear y resolver los sistemas matriciales.
- Los elementos de la torre deben actuar o trabajar solo a tracción y/o compresión, por ello se deben liberar los momentos en todos los elementos respecto a momentos flectores al inicio y final de cada pieza. También se deberá liberar los nudos que

entran a las montantes, en otras palabras, sería incorrecto colocar rotula en la intersección de diagonales, pues al aplicar las cargas de viento, todas las intersecciones con las montantes liberadas tendrán un desplazamiento infinito, cosa que no servirá más adelante para el diseño.

- Los puntos de apoyo de la estructura serán fijos.
- Los ángulos iniciales para el modelamiento serán L2.5x2.5x3/8 para toda la estructura, las cuales irán cambiando con respecto al diseño de la misma.

Se recomienda trabajar en una sola unidad. Por ejemplo, en kilogramos y metros.

PARÁMETROS INICIALES

Elementos subdivididos

Puntos de apoyo fijos

Restricción de momentos M22 Y M33

Sección típica L2.5x2.5x3/8

Fuente: elaboración propia

TORRE EN 3D

Fuente: elaboración propia

7.1.3.3 Análisis por carga de viento.

Como ya fue mencionado, para este análisis ya se debe de contar con la presión de viento horizontal que soportará la estructura. Cabe mencionar que esta presión se distribuirá en cada pieza de la estructura, en donde la fuerza final del viento dependerá del largo de la pieza como el ancho del perfil metálico L2.5x2.5x3/8.

Veamos un ejemplo:

Procedimiento para obtener cada fuerza en cada nodo de la estructura en viento

fuerza al nudo debido al viento $F_v=8.56\text{kg}$

L1=1.27, L2=1.14, L3=1.14, L4=1.27,
L5=1.12, L6=1.12 (en metros)

$$F = P_v \times L \times ANCHO$$

$$F = 38.6 \frac{kg}{m^2} \times \left(\frac{1.27}{2} + \frac{1.14}{2} + \frac{1.14}{2} + \frac{1.27}{2} + \frac{1.27}{2} + \frac{1.12}{2} \right) \times \left(2.5 \times \frac{2.50}{100} \right)$$

Los nudos numerados están contados desde la parte inferior de la torre hasta la parte superior, de abajo hacia arriba; ya que la estructura es simétrica, el conteo se hace fácilmente.

Fuerzas en viento viento 1

	NUDO	LONGITUD (m)
	FUERZA	a=2,5"
	1	1,04
	2	1,22
	3	1,87
	4	1,95
	5	2,12
	6	2,83
	7	3,49
	8	1,32
	9	1,96
	10	2,04
	11	1,24
	12	1,93
	13	2,18
	14	3,66
	15	2,99
	16	2,02
	17	3,17
	18	1,89
	19	3,00
	20	1,72
	21	2,89
	22	1,64
	23	3,07
	24	0,51
	25	0,80
	26	1,33
	27	3,35
	28	1,57
	29	3,33
	30	2,98
	31	0,86
	32	0,80
	33	1,68
	34	1,97
	35	1,23
	36	1,12

Fuente: elaboración propia

Fuerzas en viento viento 2

		FUERZA
NUDO	LONGITUD (m)	a=2,5"
1	1,04	2,56
2	1,22	2,99
3	1,87	4,58
4	1,95	4,78
5	2,12	5,19
6	2,83	6,93
7	3,49	8,56
8	1,32	3,23
9	1,96	4,80
10	2,04	5,01
11	1,24	3,03
12	1,93	4,73
13	2,18	5,35
14	3,66	8,97
15	2,99	7,33
16	2,02	4,96
17	3,17	7,77
18	1,89	4,64
19	3,00	7,37
20	1,72	4,22
21	2,89	7,08
22	1,64	4,02
23	3,15	7,72
24	0,00	0,00
25	0,00	0,00
26	0,00	0,00
27	3,07	7,53
28	1,57	3,84
29	3,33	8,16
30	2,98	7,30
31	0,86	2,10
32	0,80	1,95
33	1,68	4,11
34	1,97	4,82
35	1,23	3,01
36	1,12	2,75

Fuente: elaboración propia

Fuerzas en viento viento 3 y 4

NUDO	LONGITUD (m)	FUERZA a=2,5"
1	1,04	2,56
2	1,22	2,99
3	1,87	4,58
4	1,95	4,78
5	2,12	5,19
6	2,83	6,93
7	3,49	8,56
8	1,32	3,23
9	1,96	4,80
10	2,04	5,01
11	1,24	3,03
12	1,93	4,73
13	2,18	5,35
14	3,66	8,97
15	2,99	7,33
16	2,02	4,96
17	3,17	7,77
18	1,89	4,64
19	3,00	7,37
20	1,72	4,22
21	2,89	7,08
22	1,64	4,02
23	3,07	7,51
24	0,51	1,25
25	0,80	1,95
26	1,33	3,26
27	3,35	8,20
28	1,57	3,84
29	3,33	8,16
30	2,98	7,30
31	0,86	2,10
32	0,80	1,95
33	1,68	4,11
34	1,97	4,82
35	1,23	3,01
36	1,12	2,75

Fuente: elaboración propia

7.1.3.4 Análisis por carga de peso propio.

En este punto se constituirá el desarrollo del peso propio de la estructura, en donde podremos escoger varias alternativas para el desarrollo de la misma; como, por ejemplo, el diagrama de cuerpo libre y metrados de estructuras metálicas.

En nuestro caso, usaremos el método del metrado; ya que, se tomarán los datos de cada longitud de la estructura metálica, la misma que también la usaremos más adelante cuando elaboremos el diseño.

Esto nos servirá para comprobar de una forma manual, el análisis que se hace en el SAP2000, dónde comprobaremos al final de este punto que, los datos ingresados son correctos.

A continuación, mostraremos una tabla del método de metrado que se ha elaborado por cuenta propia.

BARRA	LONGITUD	AREA	DENSIDAD	PESO
	m	L2.5X2.5X3/8	KG/M3	PARCIAL KG
1	1,00	0,001138	7850,00	8,93
2	0,42	0,001138	7850,00	3,78
3	0,42	0,001138	7850,00	3,78
4	0,85	0,001138	7850,00	7,57
5	0,85	0,001138	7850,00	7,57
6	1,27	0,001138	7850,00	11,35
9	1,06	0,001138	7850,00	9,43
10	1,26	0,001138	7850,00	11,26
11	1,26	0,001138	7850,00	11,26
12	1,06	0,001138	7850,00	9,43
13	0,64	0,001138	7850,00	5,68
14	0,64	0,001138	7850,00	5,68
15	0,48	0,001138	7850,00	4,31
16	0,48	0,001138	7850,00	4,31
17	0,96	0,001138	7850,00	8,62
20	1,23	0,001138	7850,00	10,94
21	1,23	0,001138	7850,00	10,94
24	1,08	0,001138	7850,00	9,62
25	1,08	0,001138	7850,00	9,62
26	1,54	0,001138	7850,00	13,76
27	1,54	0,001138	7850,00	13,76
36	1,00	0,001138	7850,00	8,93
37	1,00	0,001138	7850,00	8,93
38	1,39	0,001138	7850,00	12,44
39	1,39	0,001138	7850,00	12,44

40	1,00	0,001138	7850,00	8,93
41	0,50	0,001138	7850,00	4,47
42	0,50	0,001138	7850,00	4,47
47	1,00	0,001138	7850,00	8,93
48	1,30	0,001138	7850,00	11,61
49	1,30	0,001138	7850,00	11,61
50	1,39	0,001138	7850,00	12,44
51	1,39	0,001138	7850,00	12,44
52	1,00	0,001138	7850,00	8,93
53	1,30	0,001138	7850,00	11,61
54	1,30	0,001138	7850,00	11,61
55	1,00	0,001138	7850,00	8,93
60	1,00	0,001138	7850,00	8,93
61	1,20	0,001138	7850,00	10,72
62	1,20	0,001138	7850,00	10,72
63	1,20	0,001138	7850,00	10,72
64	1,20	0,001138	7850,00	10,72
65	1,28	0,001138	7850,00	11,41
66	1,00	0,001138	7850,00	8,93
67	1,00	0,001138	7850,00	8,93
68	1,00	0,001138	7850,00	8,93
69	1,00	0,001138	7850,00	8,93
70	1,00	0,001138	7850,00	8,93
71	1,00	0,001138	7850,00	8,93
72	1,00	0,001138	7850,00	8,93
73	1,20	0,001138	7850,00	10,72
74	1,20	0,001138	7850,00	10,72
75	1,20	0,001138	7850,00	10,72
76	1,20	0,001138	7850,00	10,72
77	1,28	0,001138	7850,00	11,41
78	1,00	0,001138	7850,00	8,93
79	1,00	0,001138	7850,00	8,93
80	1,00	0,001138	7850,00	8,93
81	1,00	0,001138	7850,00	8,93
82	1,00	0,001138	7850,00	8,93
83	1,00	0,001138	7850,00	8,93
84	1,00	0,001138	7850,00	8,93
86	1,00	0,001138	7850,00	8,96
87	0,88	0,001138	7850,00	7,90
88	0,88	0,001138	7850,00	7,90
89	1,00	0,001138	7850,00	8,96
90	1,07	0,001138	7850,00	9,58
91	0,96	0,001138	7850,00	8,57
92	1,07	0,001138	7850,00	9,58
93	0,96	0,001138	7850,00	8,62
94	0,96	0,001138	7850,00	8,57

95	0,94	0,001138	7850,00	8,37
96	0,81	0,001138	7850,00	7,25
97	0,88	0,001138	7850,00	7,84
98	1,27	0,001138	7850,00	11,35
99	0,74	0,001138	7850,00	6,63
100	0,74	0,001138	7850,00	6,63
102	0,88	0,001138	7850,00	7,84
103	1,00	0,001138	7850,00	8,93
104	0,42	0,001138	7850,00	3,78
105	0,42	0,001138	7850,00	3,78
106	0,85	0,001138	7850,00	7,57
107	0,85	0,001138	7850,00	7,57
108	1,27	0,001138	7850,00	11,35
109	0,81	0,001138	7850,00	7,25
111	1,06	0,001138	7850,00	9,43
112	1,26	0,001138	7850,00	11,26
113	1,26	0,001138	7850,00	11,26
114	1,06	0,001138	7850,00	9,43
115	0,64	0,001138	7850,00	5,68
116	0,64	0,001138	7850,00	5,68
117	0,48	0,001138	7850,00	4,31
118	0,48	0,001138	7850,00	4,31
119	0,96	0,001138	7850,00	8,62
122	1,23	0,001138	7850,00	10,94
123	1,23	0,001138	7850,00	10,94
126	1,08	0,001138	7850,00	9,62
127	1,08	0,001138	7850,00	9,62
128	1,54	0,001138	7850,00	13,76
129	1,54	0,001138	7850,00	13,76
130	0,94	0,001138	7850,00	8,37
131	0,71	0,001138	7850,00	6,32
132	0,71	0,001138	7850,00	6,32
133	0,71	0,001138	7850,00	6,32
134	0,71	0,001138	7850,00	6,32
135	0,71	0,001138	7850,00	6,32
136	0,71	0,001138	7850,00	6,32
137	0,71	0,001138	7850,00	6,32
138	1,00	0,001138	7850,00	8,93
139	1,39	0,001138	7850,00	12,44
140	1,39	0,001138	7850,00	12,44
141	1,00	0,001138	7850,00	8,93
142	0,50	0,001138	7850,00	4,47
143	0,50	0,001138	7850,00	4,47
144	0,71	0,001138	7850,00	6,32
145	1,07	0,001138	7850,00	9,58
146	0,96	0,001138	7850,00	8,57

147	1,07	0,001138	7850,00	9,58
148	1,30	0,001138	7850,00	11,61
149	1,39	0,001138	7850,00	12,44
150	1,39	0,001138	7850,00	12,44
151	1,00	0,001138	7850,00	8,93
152	1,30	0,001138	7850,00	11,61
153	1,00	0,001138	7850,00	8,93
154	0,96	0,001138	7850,00	8,57
155	1,00	0,001138	7850,00	8,96
156	0,88	0,001138	7850,00	7,90
157	0,94	0,001138	7850,00	8,37
158	1,20	0,001138	7850,00	10,72
159	1,20	0,001138	7850,00	10,72
160	1,20	0,001138	7850,00	10,72
161	1,28	0,001138	7850,00	11,41
162	1,00	0,001138	7850,00	8,93
163	1,00	0,001138	7850,00	8,93
164	1,00	0,001138	7850,00	8,93
165	1,00	0,001138	7850,00	8,93
166	1,00	0,001138	7850,00	8,93
167	1,00	0,001138	7850,00	8,93
168	1,00	0,001138	7850,00	8,93
169	0,81	0,001138	7850,00	7,25
170	0,88	0,001138	7850,00	7,84
171	0,74	0,001138	7850,00	6,63
172	0,74	0,001138	7850,00	6,63
173	0,88	0,001138	7850,00	7,84
174	0,81	0,001138	7850,00	7,25
175	0,94	0,001138	7850,00	8,37
176	0,88	0,001138	7850,00	7,90
177	0,96	0,001138	7850,00	8,62
178	1,00	0,001138	7850,00	8,96
179	0,71	0,001138	7850,00	6,32
180	0,71	0,001138	7850,00	6,32
181	0,71	0,001138	7850,00	6,32
182	1,27	0,001138	7850,00	11,35
183	0,71	0,001138	7850,00	6,32
184	0,71	0,001138	7850,00	6,32
186	0,71	0,001138	7850,00	6,32
187	1,00	0,001138	7850,00	8,93
188	0,42	0,001138	7850,00	3,78
189	0,42	0,001138	7850,00	3,78
190	0,85	0,001138	7850,00	7,57
191	0,85	0,001138	7850,00	7,57
192	1,27	0,001138	7850,00	11,35
193	0,71	0,001138	7850,00	6,32

195	1,06	0,001138	7850,00	9,43
196	1,26	0,001138	7850,00	11,26
197	1,26	0,001138	7850,00	11,26
198	1,06	0,001138	7850,00	9,43
199	0,64	0,001138	7850,00	5,68
200	0,64	0,001138	7850,00	5,68
201	0,48	0,001138	7850,00	4,31
202	0,48	0,001138	7850,00	4,31
203	0,96	0,001138	7850,00	8,62
206	1,23	0,001138	7850,00	10,94
207	1,23	0,001138	7850,00	10,94
210	1,08	0,001138	7850,00	9,62
211	1,08	0,001138	7850,00	9,62
212	1,54	0,001138	7850,00	13,76
213	1,54	0,001138	7850,00	13,76
214	0,71	0,001138	7850,00	6,32
215	1,07	0,001138	7850,00	9,58
216	0,96	0,001138	7850,00	8,57
217	1,07	0,001138	7850,00	9,58
218	0,96	0,001138	7850,00	8,57
219	1,00	0,001138	7850,00	8,96
220	0,88	0,001138	7850,00	7,90
221	0,94	0,001138	7850,00	8,37
222	1,00	0,001138	7850,00	8,93
223	1,00	0,001138	7850,00	8,93
224	1,39	0,001138	7850,00	12,44
225	1,39	0,001138	7850,00	12,44
226	1,00	0,001138	7850,00	8,93
227	0,50	0,001138	7850,00	4,47
228	0,50	0,001138	7850,00	4,47
229	0,81	0,001138	7850,00	7,25
230	0,88	0,001138	7850,00	7,84
231	0,74	0,001138	7850,00	6,63
232	0,74	0,001138	7850,00	6,63
233	1,30	0,001138	7850,00	11,61
234	1,39	0,001138	7850,00	12,44
235	1,39	0,001138	7850,00	12,44
236	1,00	0,001138	7850,00	8,93
237	1,30	0,001138	7850,00	11,61
238	1,00	0,001138	7850,00	8,93
239	0,88	0,001138	7850,00	7,84
240	0,81	0,001138	7850,00	7,25
241	0,94	0,001138	7850,00	8,37
242	0,88	0,001138	7850,00	7,90
243	1,20	0,001138	7850,00	10,72
244	1,20	0,001138	7850,00	10,72

245	1,20	0,001138	7850,00	10,72
246	1,20	0,001138	7850,00	10,72
247	1,28	0,001138	7850,00	11,41
248	1,00	0,001138	7850,00	8,93
249	1,00	0,001138	7850,00	8,93
250	1,00	0,001138	7850,00	8,93
251	1,00	0,001138	7850,00	8,93
252	1,00	0,001138	7850,00	8,93
253	1,00	0,001138	7850,00	8,93
254	1,00	0,001138	7850,00	8,96
255	0,71	0,001138	7850,00	6,32
256	0,71	0,001138	7850,00	6,32
257	0,71	0,001138	7850,00	6,32
258	0,71	0,001138	7850,00	6,32
259	0,71	0,001138	7850,00	6,32
260	0,71	0,001138	7850,00	6,32
261	0,71	0,001138	7850,00	6,32
262	0,96	0,001138	7850,00	8,62
263	0,71	0,001138	7850,00	6,32
264	1,07	0,001138	7850,00	9,58
265	0,96	0,001138	7850,00	8,57
266	1,07	0,001138	7850,00	9,58
267	1,27	0,001138	7850,00	11,35
268	0,96	0,001138	7850,00	8,57
269	1,00	0,001138	7850,00	8,96
271	0,88	0,001138	7850,00	7,90
272	0,42	0,001138	7850,00	3,78
273	0,42	0,001138	7850,00	3,78
274	0,85	0,001138	7850,00	7,57
275	0,85	0,001138	7850,00	7,57
276	1,27	0,001138	7850,00	11,35
277	0,94	0,001138	7850,00	8,37
279	1,06	0,001138	7850,00	9,43
280	1,26	0,001138	7850,00	11,26
281	1,26	0,001138	7850,00	11,26
282	1,06	0,001138	7850,00	9,43
283	0,64	0,001138	7850,00	5,68
284	0,64	0,001138	7850,00	5,68
285	0,48	0,001138	7850,00	4,31
286	0,48	0,001138	7850,00	4,31
287	0,96	0,001138	7850,00	8,62
290	1,23	0,001138	7850,00	10,94
291	1,23	0,001138	7850,00	10,94
294	1,08	0,001138	7850,00	9,62
295	1,08	0,001138	7850,00	9,62
296	1,54	0,001138	7850,00	13,76

297	1,54	0,001138	7850,00	13,76
298	0,81	0,001138	7850,00	7,25
299	0,88	0,001138	7850,00	7,84
300	0,74	0,001138	7850,00	6,63
301	0,74	0,001138	7850,00	6,63
302	0,88	0,001138	7850,00	7,84
303	0,81	0,001138	7850,00	7,25
304	0,94	0,001138	7850,00	8,37
305	0,88	0,001138	7850,00	7,90
306	1,00	0,001138	7850,00	8,93
307	1,39	0,001138	7850,00	12,44
308	1,39	0,001138	7850,00	12,44
309	0,50	0,001138	7850,00	4,47
310	0,50	0,001138	7850,00	4,47
311	1,00	0,001138	7850,00	8,96
312	0,71	0,001138	7850,00	6,32
313	0,71	0,001138	7850,00	6,32
314	0,71	0,001138	7850,00	6,32
315	1,39	0,001138	7850,00	12,44
316	1,39	0,001138	7850,00	12,44
317	1,00	0,001138	7850,00	8,93
318	0,71	0,001138	7850,00	6,32
319	0,71	0,001138	7850,00	6,32
320	0,71	0,001138	7850,00	6,32
321	0,71	0,001138	7850,00	6,32
322	0,71	0,001138	7850,00	6,32
323	1,12	0,001138	7850,00	9,96
324	1,12	0,001138	7850,00	9,96
325	1,12	0,001138	7850,00	9,96
326	1,12	0,001138	7850,00	9,96
327	1,12	0,001138	7850,00	9,96
328	1,12	0,001138	7850,00	9,96
330	0,96	0,001138	7850,00	8,62
332	1,14	0,001138	7850,00	10,21
333	1,14	0,001138	7850,00	10,21
334	1,14	0,001138	7850,00	10,21
335	1,27	0,001138	7850,00	11,35
336	1,14	0,001138	7850,00	10,21
337	1,14	0,001138	7850,00	10,21
339	1,14	0,001138	7850,00	10,21
340	0,71	0,001138	7850,00	6,32
341	0,71	0,001138	7850,00	6,32
342	0,71	0,001138	7850,00	6,32
343	0,71	0,001138	7850,00	6,32
344	0,87	0,001138	7850,00	7,74
345	0,87	0,001138	7850,00	7,74

346	0,87	0,001138	7850,00	7,74
347	0,87	0,001138	7850,00	7,74
348	1,00	0,001138	7850,00	8,93
350	1,14	0,001138	7850,00	10,21
351	0,98	0,001138	7850,00	8,72
352	0,98	0,001138	7850,00	8,72
353	0,84	0,001138	7850,00	7,49
354	0,50	0,001138	7850,00	4,47
355	0,50	0,001138	7850,00	4,47
356	0,50	0,001138	7850,00	4,47
357	0,98	0,001138	7850,00	8,72
358	0,98	0,001138	7850,00	8,72
359	0,50	0,001138	7850,00	4,47
360	1,10	0,001138	7850,00	9,80
361	0,84	0,001138	7850,00	7,49
362	0,98	0,001138	7850,00	8,72
363	0,98	0,001138	7850,00	8,72
364	0,84	0,001138	7850,00	7,49
365	1,14	0,001138	7850,00	10,21
366	1,12	0,001138	7850,00	9,96
367	0,98	0,001138	7850,00	8,72
368	0,98	0,001138	7850,00	8,72
369	0,84	0,001138	7850,00	7,49
370	0,50	0,001138	7850,00	4,47
371	0,50	0,001138	7850,00	4,47
372	0,50	0,001138	7850,00	4,47
373	0,98	0,001138	7850,00	8,72
374	0,98	0,001138	7850,00	8,72
375	0,50	0,001138	7850,00	4,47
376	1,10	0,001138	7850,00	9,80
377	0,84	0,001138	7850,00	7,49
378	0,98	0,001138	7850,00	8,72
379	0,98	0,001138	7850,00	8,72
380	0,84	0,001138	7850,00	7,49
381	0,84	0,001138	7850,00	7,49
382	0,84	0,001138	7850,00	7,49
383	0,98	0,001138	7850,00	8,72
384	0,98	0,001138	7850,00	8,72
385	0,50	0,001138	7850,00	4,47
386	0,50	0,001138	7850,00	4,47
387	0,50	0,001138	7850,00	4,47
388	0,50	0,001138	7850,00	4,47
389	0,98	0,001138	7850,00	8,72
390	0,98	0,001138	7850,00	8,72
391	1,20	0,001138	7850,00	10,72
392	0,50	0,001138	7850,00	4,47

393	0,50	0,001138	7850,00	4,47
394	0,50	0,001138	7850,00	4,47
395	0,50	0,001138	7850,00	4,47
396	0,84	0,001138	7850,00	7,49
397	0,84	0,001138	7850,00	7,49
398	0,98	0,001138	7850,00	8,72
399	0,98	0,001138	7850,00	8,72
400	1,10	0,001138	7850,00	9,80
401	1,00	0,001138	7850,00	8,93
402	1,00	0,001138	7850,00	8,93
403	0,84	0,001138	7850,00	7,49
404	0,84	0,001138	7850,00	7,49
405	0,60	0,001138	7850,00	5,35
406	1,20	0,001138	7850,00	10,70
407	0,60	0,001138	7850,00	5,35
408	1,20	0,001138	7850,00	10,70
409	0,60	0,001138	7850,00	5,35
410	1,20	0,001138	7850,00	10,70
411	0,60	0,001138	7850,00	5,35
412	1,20	0,001138	7850,00	10,70
413	0,90	0,001138	7850,00	8,03
414	0,90	0,001138	7850,00	8,03
415	0,90	0,001138	7850,00	8,03
416	0,90	0,001138	7850,00	8,03
417	0,68	0,001138	7850,00	6,09
418	0,68	0,001138	7850,00	6,09
419	0,68	0,001138	7850,00	6,09
420	0,68	0,001138	7850,00	6,09
428	1,12	0,001138	7850,00	9,96
435	1,12	0,001138	7850,00	9,96
436	1,12	0,001138	7850,00	9,96
437	1,12	0,001138	7850,00	9,96
438	1,12	0,001138	7850,00	9,96
439	1,14	0,001138	7850,00	10,21
440	1,14	0,001138	7850,00	10,21
441	1,14	0,001138	7850,00	10,21
442	1,14	0,001138	7850,00	10,21
443	1,14	0,001138	7850,00	10,21
444	1,14	0,001138	7850,00	10,21
445	1,14	0,001138	7850,00	10,21
446	1,14	0,001138	7850,00	10,21
447	1,12	0,001138	7850,00	9,96
448	1,12	0,001138	7850,00	9,96
449	1,12	0,001138	7850,00	9,96
450	1,12	0,001138	7850,00	9,96
451	1,12	0,001138	7850,00	9,96

452	1,12	0,001138	7850,00	9,96
453	1,14	0,001138	7850,00	10,21
454	1,14	0,001138	7850,00	10,21
455	1,14	0,001138	7850,00	10,21
456	1,14	0,001138	7850,00	10,21
457	1,14	0,001138	7850,00	10,21
458	1,14	0,001138	7850,00	10,21
459	1,14	0,001138	7850,00	10,21
460	1,14	0,001138	7850,00	10,21
461	1,12	0,001138	7850,00	9,96
462	1,12	0,001138	7850,00	9,96
463	1,12	0,001138	7850,00	9,96
464	1,12	0,001138	7850,00	9,96
465	1,12	0,001138	7850,00	9,96
466	1,12	0,001138	7850,00	9,96
467	1,14	0,001138	7850,00	10,21
468	1,14	0,001138	7850,00	10,21
469	1,14	0,001138	7850,00	10,21
470	1,14	0,001138	7850,00	10,21
471	1,14	0,001138	7850,00	10,21
472	1,14	0,001138	7850,00	10,21
473	1,14	0,001138	7850,00	10,21
474	1,14	0,001138	7850,00	10,21
475	0,35	0,001138	7850,00	3,16
476	0,35	0,001138	7850,00	3,16
477	0,35	0,001138	7850,00	3,16
478	0,35	0,001138	7850,00	3,16
479	0,35	0,001138	7850,00	3,16
480	0,35	0,001138	7850,00	3,16
481	0,35	0,001138	7850,00	3,16
482	0,35	0,001138	7850,00	3,16
483	0,35	0,001138	7850,00	3,16
484	0,35	0,001138	7850,00	3,16
485	0,35	0,001138	7850,00	3,16
486	0,35	0,001138	7850,00	3,16
PESO TOTAL (KG)				3622,20
PESO TOTAL (TON)				3,62

Tabla 1: Metrado de torre eléctrica.

Ahora comprobaremos el peso total mediante el SAP2000, y tendremos el siguiente cuadro:

Fuente: elaboración propia

Entonces, sumando las fuerzas en el eje z, tendremos:

$$F3 \text{ total} = 0.91 \text{ ton} + 0.86 \text{ ton} + 0.86 \text{ ton} + 0.91 \text{ ton}$$

$$F2_{\text{total}} = 3.54 \text{ ton}$$

Con esto estaríamos verificando el buen análisis por peso propio que se tiene; ya que por el método del metrado, obtuvimos un peso de 3.62 ton, valor que se aproxima al peso analizado por el SAP2000

Por otro lado, este punto se retomará al finalizar el diseño; ya que por mientras se está tomando una sola sección para todos los elementos de la torre.

7.1.3.5 Análisis por carga excepcionales.

En este punto, se colocarán las cargas externas de acuerdo al patón asignado, en donde se escogerán los puntos de aplicación puntuales, tales como se indican en el diagrama de árbol para la torre, ver capítulo anterior.

Para ello, se mostrará la asignación de cargas puntuales en los puntos de aplicación; mencionando que habrá una pequeña modificación en la cúpula de la torre; ya que según el diagrama de árbol, hay solo un punto de aplicación para esta punto, sin embargo, en el punto de la cúpula habrán dos puntos de aplicación. Esto se mostrará a continuación, viendo el caso 1 del diagrama de combinaciones que tiene el diagrama de árbol ya mencionado.

Fuente: elaboración propia

Asignación de cargas externas en 1 (en Newton)

Fuente: elaboración propia
Asignación de cargas externas en 2 (en Newton)

Fuente: elaboración propia
Asignación de cargas externas en 3 (en Newton)

Fuente: elaboración propia
Asignación de cargas externas en 4 o cúpula (en Newton)

7.1.3.6 Combinación de cargas.

Una vez terminada la configuración de los parámetros iniciales para el modelado en SAP2000, es necesario seleccionar las combinaciones de diseño para que el programa analice estas, cabe mencionar que el programa por cuenta propia crea combinaciones de cargas, sin embargo, eso no será necesario en este caso, ya que las combinaciones que se asignarán estarán basadas según lo prescrito en el capítulo 3.

Asimismo, presentaremos algunas combinaciones de cargas, las mismas que se podrán visualizar en los anexos finales de la investigación.

Fuente: elaboración propia

Fuente: elaboración propia

Cabe mencionar que cada combinación vista fueron realizadas considerando: carga muerta (CM), carga viva o excepcional (CV1, CV2, CV3, CV4, CV5 Y CV6; debido al diagrama de árbol de cargas), carga de viento (CW1, CW2, CW3 Y CW4; debido a que se está considerando la presión de viento hacia los 4 lados de la torre).

7.1.3.7 Resultado general del análisis.

Una vez realizado o colocados todos los parámetros ya expuestos, se correrá el programa para visualizar los resultados y obtener nuestros primeros resultados de la simulación llamado también primer proceso falla-corrección.

En estos resultados se podrán visualizar los esfuerzos que tienen cada barra en la estructura de la torre, y para ello se valió solo de los resultados botados por la envolvente; por otro lado, para los resultados de los desplazamientos, se valió del resultado de cada combinación. Estos cuadros de datos se podrán visualizar en los anexos.

A continuación, se mostrarán gráficos resúmenes de lo que fue el primer resultado falla-corrección.

7.1.3.7.1 Fuerza a tracción.

- a) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las 100 primeras barras, aparece un fuerza de tracción máxima de aproximadamente 7 ton.

Fuente: elaboración propia

- b) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 100 al 200, aparece un fuerza de tracción máxima de aproximadamente 3.8 ton.

Fuente: elaboración propia

- c) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 200 al 300, aparece un fuerza de tracción máxima de aproximadamente 4.3 ton.

Fuente: elaboración propia

- d) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 300 al 400, aparece un fuerza de tracción máxima de aproximadamente 3.3 ton.

Fuente: elaboración propia

- e) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 400 al 486, aparece un fuerza de tracción máxima de aproximadamente 2.5 ton.

Fuente: elaboración propia

Entonces, podemos verificar que la fuerza a tracción máxima es de 7.00 toneladas, correspondientes a las barra 77.

7.1.3.7.2 Fuerza a compresión.

- a) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las 100 primeras barras, aparece un fuerza de compresión máxima de aproximadamente 6.5 ton.

Fuente: elaboración propia

- b) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 300 al 400, aparece un fuerza de compresión máxima de aproximadamente 9.8 ton.

Fuente: elaboración propia

- c) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 300 al 400, aparece un fuerza de compresión máxima de aproximadamente 8.9 ton.

Fuente: elaboración propia

- d) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 300 al 400, aparece un fuerza de compresión máxima de aproximadamente 8.9 ton.

Fuente: elaboración propia

- e) En el siguiente diagramas de barras, podemos apreciar que dentro de las barras 400 al 486, aparece un fuerza de compresión máxima de aproximadamente 8.8 ton.

Fuente: elaboración propia

Entonces, podemos verificar que la fuerza a compresión máxima es de 9.80 toneladas, correspondientes a las barra 166.

7.1.3.7.3 Desplazamientos.

- a) La siguiente gráfica tiene como finalidad mostrar el rango de desplazamiento que sufren las barras para la dirección x, las cuales están entre -0.5 cm y 2.5 cm

Fuente: elaboración propia

- b) La siguiente gráfica tiene como finalidad mostrar el rango de desplazamiento que sufren las barras para la dirección x, las cuales están entre -0.0cm y 5.5 cm

Fuente: elaboración propia

8 CAPÍTULO 6

8.1 Diseño de elementos.

8.1.1 Diseño de elementos de acero.

8.1.1.1 El objetivo del diseño estructural.

La labor de un diseñador estructural es el dimensionar los elementos que actúan en la estructura y estos cumplan su función sin que se encuentren sobredimensionados. Para ello, el diseñador tiene que seguir un conjunto de pasos, que consisten en prueba y error hasta encontrar la mejor sección que cumpla con todas las demandas requeridas.

Las funciones que se le recomienda al diseñador para cumplir y realizar el diseño de torres de alta tensión son las siguientes:

- Trazo general de la estructura
- Estudio de las formas estructurales disponibles
- Consideración de todas las cargas que actuarán en dicha torre
- Análisis de las fuerzas internas de cada barra
- Diseño de cada uno de ellos los elementos

8.1.1.2 Diseño por factores de carga y resistencia (LRFD) y diseño de esfuerzo permisible (ASD).

Ambos son procedimientos que se basan en el estado límite de la estructura. El estado límite es una condición en la que la estructura o parte de ella deja de cumplir la función que fue diseñado.

Estado límite de resistencia, define la capacidad de asumir una carga hasta llegar a la fluencia excesiva, fractura de un miembro, pandeo, fatiga o el movimiento bruto del cuerpo rígido. Estado límite de servicio, define la capacidad de asumir una carga incluyendo la deflexión, las vibraciones, deslizamiento y el deterioro del material.

El LRFD y ASD son dos enfoques que tienen como objetivo obtener el menor margen de variación entre la resistencia y la carga que máxima que podría resistir la estructura.

Existen dos grandes diferencias entre el método LRFD y el ASD. La primera, tiene que ver con el método para calcular las cargas de diseño. (2.9 , 2.10 y 2.11 McCormac). La segunda, tiene que ver con los factores, ya sean de resistencia (Φ en método LRFD) o de seguridad (Ω en el método ASD).

Es fundamental señalar que los dos métodos son totalmente independientes del análisis estructural que se utilice. Es por eso que para cual sea el enfoque que se utilicé, el análisis será el mismo.

8.1.1.3 Resistencia nominal.

En ambos métodos, LRFD y ASD; se utiliza el término “Resistencia Nominal”. Esto hace referencia a la resistencia teórica, sin aplicar los factores de seguridad (Φ Ω).

8.1.1.4 Análisis a miembros a tensión.

La selección de un perfil para el análisis y diseño como miembros a tensión es uno de los problemas más simples. Como no hay problema que los miembros se pandee, solo se necesita determinar la carga que sustentara y luego calcular el área requerida.

Los tipos de sección con frecuencia y que trabajan satisfactoriamente en torres de transmisión, anuncios, puentes peatonales, etc; son las secciones planas o en L.

Cuando los miembros de más de una sección necesitan conectarse. Las placas de unión (también llamadas barras de unión), localizadas a diferentes intervalos, o bien, las cubre placas perforadas, sirven para mantener en su lugar y unir a estos miembros manteniendo dentro de la relación de esbeltez de las partes individuales.

Las cubreplacas son la excepción, ya que solo parte de su área puede ser considerada efectiva para resistir cargas axiales

8.1.1.5 Resistencia nominal de los miembros a tensión.

Por un lado, un miembro de acero, sin agujeros y sometido a tensión puede resistir una carga mayor a la correspondiente debido a al producto del área de su sección transversal por el esfuerzo de fluencia del acero

Ilustración 1- Diagrama de esfuerzo - deformación

Por otro lado, si tenemos un miembro a tensión que presenta agujeros donde se ubicaran los tornillos, este podría fallar por fractura. Este tipo de falla se debería a causa del área reducida de la sección, justamente por los agujeros. Por esta razón para prevenir el límite de fluencia de una sección bruta con la idea de prevenir esta falla se aplicará las siguientes expresiones:

Para prevenir estado de límite de fluencia [Ecuación D 2-1 AISC]

$$\Phi = 0.9 \quad P_n = F_y * A_g$$

$$\Phi_t * P_n = \Phi_t * F_y * A_g$$

Para prevenir la fractura por tensión [Ecuación D 2-2 AISC]

$$\Phi = 0.75 \quad P_n = F_u * A_e$$

$$\Phi_t * P_n = \Phi_t * F_u * A_e$$

CONSIDERACIONES

- Las expresiones anteriores “Fy” y “Fu” son esfuerzos máximos de Fluencia y Tensión, como se puede apreciar en la Ilustración 1
- Ag: Área bruta del miembro
- Ae: Área neta (Menor comparado con el área bruta)

Cualquier consulta o propiedades de las secciones más comunes se encuentran en el “*Steel Construction Manual*”

8.1.1.6 Consideraciones generales para el diseño a compresión.

Es importante resaltar que el diseño de barras a compresión es un tema muy importante a tener en cuenta, ya que existen diferentes causas para su falla. Existen tres modos de los cuales las secciones cargadas axialmente a compresión pueden fallar. Primero, **el pandeo flexionante (pandeo de Euler)**, donde los miembros se vuelven inestables cuando son sometidos a flexión. Segundo, **el pandeo local**, ocurre cuando parte o partes de la sección transversal de una barra se pandea localmente antes de que otros modos de pandeo ocurran. Tercero, **pandeo torsionante flexionante**, estas fallan por una combinación de pandeo torsional y flexionante.

Mientras más larga sea la barra para una sección constante, mayor es propenso a pandearse. Para ello, se ha definido que la relación de esbeltez es como la relación entre la longitud y su radio de giro mínimo. Las causas al pandeo también dependen de los siguientes factores: tipo de conexiones, excentricidad de la aplicación de la carga, imperfecciones en el material y esfuerzos residuales de fabricación

Una barra que se encuentra bajo fuerzas axiales de compresión es un miembro más crítico en un sistema, porque pequeñas imperfecciones en los materiales o en las dimensiones tienen mucha importancia. Esta situación lo podemos ilustrar cuando un camión impacte con la estructura de la torre. Los miembros que se encuentren a tensión probablemente no se verán afectadas, porque la misma carga tenderá a enderezar este miembro. Sin embargo, en los miembros a compresión, las cargas de compresión incrementarán considerablemente la flexión.

8.1.1.7 Esfuerzos residuales.

Investigaciones en la Universidad de Lehigh realizaron una investigación de la resistencia de las barras de acero cargadas axialmente. La investigación señala que en el proceso de fabricación de las barras son un factor importante en el desempeño de estas. Quiere decir que existe una posible probabilidad que un miembro cargado axialmente pueda resistir menos de lo esperado y esto a causa de su fabricación. En conclusión, brindamos esta información para uso a criterio del diseñador.

8.1.1.8 Perfiles usados para miembros a compresión.

Las secciones bajo esfuerzos de compresión por lo común son similares a las empleadas para miembros a tensión con ciertas excepciones. Dichas excepciones residen en miembros a compresión que varían inversamente con la relación de esbeltez y se requiere entonces de miembros más rígidos. Cuando la resistencia de un miembro no es lo suficiente para el área que tiene, se le puede agregar placas a los patines.

Ilustración 2/ Secciones - Tipos de miembro a compresión

8.1.1.9 Diseñando miembro a tracción.

Para esta parte el lector tiene que tener algunos criterios básicos para estimar y proponer algunas dimensiones. A continuación, diseñaremos una sección representativa de nuestra torre. Primero utilizaremos las fuerzas interpretadas por el software, luego realizaremos un conjunto de análisis iterativos hasta encontrar la más adecuada sección.

a) REALIZAMOS LA COMBINACION POR EL MÉTODO LRFD (Pu)

Realizamos la combinación de las diferentes cargas (Carga viva, Carga muerta, Carga de viento, Carga de sismo, etc). Sin embargo, para nuestro caso nosotros extraeremos dicha información del software, ya que las cargas y situaciones de falla ya se encuentran insertadas en el programa.

b) CALCULAMOS EL ÁREA MINIMA

Calculamos el área mínima con las siguientes dos expresiones, el menor de los dos resultados es el que se utilizará.

$$A_g \text{ mín} = \frac{P_u}{\Phi * F_y} \quad (b.1)$$

$$A_g \text{ mín} = \frac{P_u}{\Phi * F_u * U} + \text{área de agujeros} \quad (b.2)$$

Nota:

$A_g \text{ mín}$: Área mínima total

P_u : Esfuerzo máximo a tracción

F_y : Esfuerzo mínimo de fluencia ($\frac{klb}{plg^2}$)

F_u : Esfuerzo de tensión ($\frac{klb}{plg^2}$)

U : Factor de retraso de cortante

Caso	Descripción del elemento		Factor de retraso de cortante, U	Ejemplo
1	Todos los miembros a tensión donde la carga de tensión se transmite directamente a cada uno de los elementos de la sección transversal mediante sujetadores o soldadura (excepto en los Casos 4, 5 y 6).		$U = 1.0$
2	Todos los miembros a tensión, excepto placas y HSS, donde la carga de tensión se transmite a algunos pero no a todos lo elementos de la sección transversal mediante sujetadores o soldadura longitudinal en combinación con soldadura transversal. (En forma alterna, para W, M, S y HP, puede usarse el Caso 7. Para los ángulos, puede usarse el Caso 8.)		$U = 1 - \bar{x}/l$
3	Todos los miembros a tensión donde la carga de tensión se transmite solamente por la soldadura transversal a algunos pero no a todos los elementos de la sección transversal.		$U = 1.0$ y A_n = área de los elementos directamente conectados
4	Placas donde la carga de tensión se transmite solamente por soldadura longitudinal.		$l \geq 2w \dots U = 1.0$ $2w > l \geq 1.5w \dots U = 0.87$ $1.5w > l \geq w \dots U = 0.75$
5	HSS redonda con una placa de empalme concéntrica individual.		$l \geq 1.3D \dots U = 1.0$ $D \leq l < 1.3D \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = D/\pi$
6	HSS rectangular	con una placa de empalme concéntrica individual	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$
		con dos placas de empalme laterales	$l \geq H \dots U = 1 - \bar{x}/l$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$
7	Perfiles W, M, S o HP o tes cortadas de estos perfiles. (Si U se calcula según el Caso 2, se permite usar el valor mayor.)	con el patín conectado con 3 o más sujetadores por línea en la dirección de la carga	$b_f \geq 2/3d \dots U = 0.90$ $b_f < 2/3d \dots U = 0.85$
		con el alma conectada con 4 o más sujetadores por línea en la dirección de la carga	$U = 0.70$
8	Ángulos individuales y dobles (si U se calcula según el Caso 2, se permite usar el valor mayor).	con 4 o más sujetadores por línea en la dirección de la carga	$U = 0.80$
		con 3 sujetadores por línea en la dirección de la carga (con menos de 3 sujetadores por línea en la dirección de la carga, use el Caso 2).	$U = 0.60$
l = longitud de la conexión, plg (mm); w = ancho de placa, plg (mm); $\bar{x}$ = excentricidad de la conexión, plg (mm); B = ancho total del miembro rectangular HSS, medido a 90° con el plano de la conexión, plg (mm); H = altura total del miembro rectangular HSS, medida en el plano de la conexión, plg (mm).				

c) EVALUAR EL RADIO DE GIRO MÍNIMO

$$r_{\text{mín}} = \frac{L}{300} \quad (\text{c.1})$$

d) PROPONER UNA SECCIÓN

Completar los siguientes datos de la sección propuesta (A_g , d , b_f , t_f y $r_{\text{mín}}$.)

Ilustración 4 sección típica

e) COMPROBANDO

Para comprobar dicha sección que fue propuesta realizaremos tres análisis

- **Fluencia de sección total**

$$\Phi_t * P_n = \Phi_t * F_y * A_g$$

Este resultado tiene que ser mayor al que se requería al principio

- **Resistencia a la fractura a la tensión**

Dependiendo del caso nos vamos a la ilustración 03 siguiente.

- **Relación de esbeltez**

$$r = \frac{L_y}{r_y}$$

Ilustración 3/Fuente: Especifica AISC, Tabla 6B, p 16.1-28 / American Institute of Steel Construction

8.1.1.9.1 Diseñando miembro a tracción.

A continuación, presentaremos los resultados del diseño de un miembro a tracción de forma detallada para una barra que se encuentran en una de las crucetas de la torre de transmisión de energía eléctrica. Aquí podemos ver todas las fases de diseño de miembros a tracción. Primero, comenzamos con una fase donde asumimos algunos parámetros de una sección para su evaluación. Segundo, realizamos una segunda propuesta conociendo principalmente el área que requiere para dichos esfuerzos. Por último, realizamos la inspección de las esbelteces y fluencia de sección.

a) Según el análisis realizado con el SAP2000, utilizaremos $P_u = 7.00$ ton como dato inicial del diseño a tracción.

b) Calcularemos el A_g mínimo requerido, usando las ecuaciones (b.1) y (b.2)

Nota: Para nuestro caso, se usará acero A36 por ser los más utilizados en torres de transmisión, cuyas propiedades son las siguiente: $F_y = 2530$ kg/cm² y $F_u = 4077$ kg/cm². Y usaremos el valor $U=0.85$ según la tabla 6b.

$$A_g \text{ mín} = \frac{P_u}{\Phi * F_y} = \frac{7 \times 1000 \text{ kg}}{(0.90)(2530 \text{ kg/cm}^2)} = 3.07 \text{ cm}^2 \quad (\text{b.1})$$

$$A_g \text{ mín} = \frac{P_u}{\Phi * F_u * U} + \text{área de agujeros}$$

$$A_g \text{ mín} = \frac{7 \times 1000 \text{ kg}}{(0.75)(4077 \text{ kg/cm}^2)(0.85)} + (2)(2.2 \text{ cm})(2.2 \text{ cm}) = 12.37 \text{ cm}^2 \quad (\text{b.2})$$

Entonces tenemos que el área mínima requerida para la sección será, $A_g \text{ mín} = 12.37 \text{ cm}^2$

c) Ahora calcularemos el radio de giro mínimo “r” preferible, usando la longitud de una cruceta $L = 1.00$ m

$$r \text{ mín} = \frac{L}{300} = \frac{1.00 \times 100}{300} = 0.333 \text{ cm} \quad (\text{c.1})$$

d) Ahora con estos datos mínimos resueltos, tenemos que buscar una sección L que cumpla con los requisitos mínimos de diseño: En este caso usaremos L152x152x22mm

Con L152x152x22 mm, tenemos: $A_g = 62.77 \text{ cm}^2$

Ahora comprobaremos por fluencia de la sección total y resistencia de fractura a la tensión.

e) Fluencia de la sección total.

$$P_n = F_y \times A_g = (2530 \text{ kg/cm}^2) \times (62.77 \text{ cm}^2) = 158808.10 \text{ kg}$$

Según LRFD con $\phi_t = 0.90$

$$\phi_t P_n = (0.90)(158808.10 \text{ kg}) = 142927.29 \text{ kg} \approx 142.93 \text{ ton} > 7.00 \text{ ton} \quad \textbf{OK}$$

f) Resistencia de fractura a la tensión.

$$A_n = 62.77 \text{ cm}^2 - (2)(2.2 \text{ cm})(2.2 \text{ cm}) = 53.09 \text{ cm}^2$$

$$A_e = (0.85)(53.09 \text{ cm}^2) = 45.13 \text{ cm}^2$$

$$P_n = F_y \times A_e = (2530 \text{ kg/cm}^2) \times (45.13 \text{ cm}^2) = 114170 \text{ kg}$$

Según LRFD con $\phi_t = 0.75$

$$\phi_t P_n = (0.75)(114170 \text{ kg}) = 86 \text{ ton} > 7.00 \text{ ton} \quad \textbf{OK}$$

8.1.1.10 Diseñando sección a compresión.

En este ejemplo se explicará paso a paso los puntos de control del diseño de un miembro axialmente a compresión. Luego se realizará el diseño de una barra representativa del proyecto.

a) REALIZAMOS LA COMBINACION POR EL MÉTODO LRFD (P_n)

Realizamos la combinación de las diferentes cargas (Carga viva, Carga muerta, Carga de viento, Carga de sismo, etc). Sin embargo, para nuestro caso nosotros extraeremos dicha información del software, ya que las cargas y situaciones de falla ya se encuentran insertadas en el programa.

b) DETERMINAR PARÁMETROS GENERALES

Los datos que tenemos que tener para determinar la capacidad de compresión para una sección son: Dimensiones del elemento, parámetros de la sección (Área, radio de giro con respecto “x” y radio de giro con respecto “y”)

c) DETERMINAR LA RELACION DE ESBELTEZ Y ESFUERZO CRITICO

A continuación, tenemos que calcular la relación de esbeltez para luego ser comparado con una ecuación y así calcular el esfuerzo crítico.

$$\begin{aligned}
 \text{Relación de esbeltez} = \frac{K * L}{r} \rightarrow & \left\{ \begin{array}{l} \text{Si, } \frac{K * L}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) * F_y \\ \text{Si, } \frac{K * L}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} \rightarrow F_{cr} = 0.877 * F_e \end{array} \right. \\
 F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} & \qquad \qquad \qquad (c.1)
 \end{aligned}$$

d) ESFUERZO DE PANDEO

$$\text{Esfuerzo de pandeo} \rightarrow F_c = \frac{K * L}{r}$$

e) CALCULAR LA RESISTENCIA O CAPACIDAD DE COMPRESIÓN

Por último, la resistencia o capacidad de compresión es:

$$\phi P_n = \phi * F_{cr} * A_g \qquad \qquad \qquad (e.1)$$

8.1.1.10.1 Diseñando miembros a compresión.

A continuación, presentamos los resultados del diseño de compresión de una barra que se encuentra en la cruceta de la torre. Aquí podemos ver las fases de diseño a compresión señaladas anteriormente. Es importante resaltar que existen un punto que determina la resistencia a compresión de un miembro, que es el Esfuerzo de pandeo – Euler.

a) Según el análisis realizado con el SAP2000, utilizaremos $P_u = 9.80$ ton como dato inicial del diseño a compresión.

b) Calcularemos la relación de esbeltez, usando las ecuaciones (c.1)

Nota: Para nuestro caso, se usará acero A36 por ser los más utilizados en torres de transmisión, cuyas propiedades son las siguiente: $F_y = 2530$ kg/cm² y $E = 2.039 \times 10^6$ kg/cm².

Con L152x152x22 mm, tenemos: $A_g = 62.77 \text{ cm}^2$, r_x e $r_y = 4.6 \text{ cm}$, $L = 1.00 \text{ m}$ (longitud de barra de la cruceta).

$$\frac{KL}{r} = \frac{1 \times 1.00 \times 100 \text{ cm}}{4.6 \text{ cm}} = 21.74$$

$$4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}} = 4.71 \sqrt{\frac{2.039 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2}{2530 \text{ kg/cm}^2}} = 133.71$$

Entonces tenemos que $\frac{KL}{r} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

c) Ahora calcularemos el refuerzo de pandeo por flexión de la barra F_{cr} , pero antes tendríamos que calcular el esfuerzo de pandeo crítico elástico F_e , según la ecuación (c.1)

$$F_e = \frac{\pi^2 \times 2.039 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2}{(21.74)^2} = 42582.65 \text{ kg/cm}^2$$

$$F_r = \left(0.658^{\frac{2530 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}{42582.65 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}} \right) \times 2530 \text{ kg/cm}^2 = 2467.86 \text{ kg/cm}^2$$

d) Por último calcularemos la resistencia nominal y lo comparemos con el esfuerzo último de los cálculos arrojados por el SAP200, según la ecuación (e.1).

$$\theta P_n = \theta \times F_{cr} \times A_g = 0.90 \times 2467.86 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \times 62.77 \text{ cm}^2 = 139417 \text{ kg} \approx 139 \text{ ton} > 9.80 \text{ ton}$$

OK

8.1.1.11 Diseñando plancha de base.

➤ **Longitud mínima de las placas.**

- Longitud normalizada de placas es igual a 8.5 pulg.
- La longitud mínima $L_{min} = (2/3) \times 8.5 = 6.00 \text{ pulg.}$
- Entonces se usará una placa de 10 pulg.

➤ **Espesor mínimo de las planchas.**

- a) Espesor mínimo de las planchas es igual a $(1/50)L$.
- b) Entonces tenemos $e_{min} = (1/50)*8.5 = 0.17$ pulg.
- c) Entonces se usará un espesor de $1/2'' = 0.5$ pulg > 0.17 pulg

8.1.1.12 Diseñando pernos.

A continuación, presentamos los resultados del diseño de pernos.

- a) Primero calcularemos la resistencia nominal del tornillo. Se usará un tornillo A-325 de $1/2''$.

$$R_n = N \times A \times F_{nv}$$

Dónde:

R_n : Resistencia nominal del tornillo.

A : área del tornillo.

F_{nv} : Resistencia nominal al cortante en conectores tipo aplastamiento.

TABLA 12.5 Resistencia nominal de sujetadores y partes roscadas, klb/plg ² (MPa).		
Descripción de los sujetadores	Resistencia nominal a la tensión, F_{nt} , klb/plg ² (MPa) ^[a]	Resistencia nominal al cortante en conectores tipo aplastamiento, F_{nv} , klb/plg ² (MPa) ^[b]
Tornillos A307	45 (310)	27 (188) ^{[c][d]}
Tornillos del Grupo A (tipo A325), cuando las roscas no están excluidas de los planos de corte	90 (620)	54 (372)
Tornillos del Grupo A (tipo A325), cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	90 (620)	68 (457)
Tornillos del Grupo B (tipo A490), cuando las roscas no están excluidas de los planos de corte	113 (780)	68 (457)
Tornillos del Grupo B (tipo A490), cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	113 (780)	84 (579)
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4 del Manual, cuando las roscas no están excluidas de los planos de corte	$0.75 F_u$	$0.450 F_u$
Partes roscadas que cumplen los requisitos de la Sección A3.4 del Manual, cuando las roscas están excluidas de los planos de corte	$0.75 F_u$	$0.563 F_u$

Fuente: American Institute of Steel Construction, Manual of Steel Construction. Table J3.2.p.16.1-120

b) Cálculo de la resistencia nominal del tornillo, R_n :

$$R_n = 1 \times \left(\frac{\pi \times \frac{1^2}{4}}{4} \right) \times 68 = 13.35 \text{ klb}$$

$$\theta R_n = 0.75 \times 13.35 = 10.01 \text{ klb}$$

c) Calculamos el número de tornillos para la barra de la cruceta en estudio:

$$N^o = \frac{P_n}{\theta R_n} = \frac{19.6}{10.01} = 1.96 \approx 2 \text{ tornillos}$$

Nota: los dos tornillos calculados se entiende que están ubicada en uno de los lados de la barra de la cruceta.

8.1.2 Diseño de cimientos.

Para el diseño de los cimientos de los depestaes, se tendrá en cuenta las verificaciones que se harán, tales como: verificación de arrancamiento, deslizamiento, compresión y volteo y cargas de diseño para el diseño estructural de la zapata, tal como lo indica el ACI.

8.1.2.1 Predimensionamiento y fuerzas actuantes.

A continuación, se mostrará las fuerzas actuantes y partes de la cimentación. Cabe resaltar que, a partir de ahora, llamaremos pedestal a la estructura que sobresale del terreno y zapata a la cimentación con ancho B .

Fuente: elaboración propia

B : lado de la zapata.

D : profundidad de desplante.

AST : altura del depestal sobre el nivel del terreno.

T : espesor de la zapata.

A : ancho del pedestal.

ANG : ángulo de arrancamiento.

$FT_{x,y}$: fuerza transversal y longitudinal en tracción.

$FC_{x,y}$: fuerza transversal y longitudinal en compresión.

$C_{máx}$: fuerza de compresión máxima.

$T_{máx}$: fuerza de tracción máxima.

Nota: Las fuerzas máximas de compresión y tracción serán el resultado del análisis que trabajamos capítulos antes.

Ahora veremos el pre dimensionamiento previo que se hizo para el diseño del cimiento, queriendo señalar que para la correcta manera de diseñar el cimiento, se tendrá que hacer varios modelamientos para conocer las dimensiones últimas que tendrá esta. En los anexos de este documento, se encontrarán las diferentes dimensiones que se supuso para poder comenzar con el diseño.

Algunos datos que veremos a continuación pertenecen al estudio de suelo.

PARAMETROS GEOMETRICOS	
B (m)	1.6
T (m)	0.2
A (m)	0.45
AST (m)	0.3
D (m)	1.5
PARAMETROS FISICOS MECANICOS	
ANG	40°
Yc (peso específico del concreto)	2400 kg/cm ³
Yrel (peso específico del relleno)	2300 kg/cm ³
Ys (peso específico del suelo)	2400 kg/cm ³
FUERZAS EXTERNAS	
Cmáx	70 KN
FCy	5.8 KN
FCx	6.5 KN
Tmáx	102.5 KN
FTy	8.9 KN
FTx	9.6 KN

8.1.2.2 Verificación de arrancamiento.

El principal problema en el análisis y diseño de las cimentaciones para las torres de transmisión se debe a la presión que el viento ejerce en los cables y que es transmitida a la estructura propiamente, estas acciones provocan que la cimentación sea sometida a fuerzas de tensión que provocan a su vez el arrancamiento.

Para esta condición, varias normas, tales como las normas ya mencionadas en capítulos anteriores, señala que:

$$\frac{P}{T} \geq 1.5$$

$P = \text{peso del cimient} + \text{peso del relleno} + \text{peso del cono}$

P: suma de fuerzas verticales resistentes al arrancamiento de la cimentación.

T: fuerza máxima vertical a tracción transmitida por la estructura.

Nota: para el peso del cono se tomará la siguiente ecuación, debido a los parámetros geométricos expuestos a continuación.

$$Vol(cono) = B \times 4 \times D \times TAN(ANG) \times \frac{D}{2} + \frac{\pi}{3} \times D^3 \times (TAN(ANG))^2$$

Fuente: Ing. Miguel Gómez (docente del instituto politécnico nacional de México)

Entonces, tendremos:

<i>peso del cemento(kg)</i>	<i>relleno(kg)</i>	<i>cono(kg)</i>
2006.40	7048.93	20471.93

Por otro lado, podemos corroborar la verificación del arrancamiento

$$\frac{P}{T} \geq 1.5$$

$$\frac{(2006.4 + 7048.93 + 20471.93)kg}{102.5 \times 101.97kg} \geq 2.83 \quad ; \text{ok!}$$

8.1.2.3 Verificación al volteo.

Para la verificación al volteo, se tendrá que analizar el volteo producido por las cargas externas tanto a tensión como compresión.

$$\frac{MRVC}{MVCx} \geq 1.5, \quad \frac{MRVC}{MVCy} \geq 1.5$$

$$\frac{MRVT}{MVTx} \geq 1.5, \quad \frac{MRVT}{MVTy} \geq 1.5$$

$$MRVC = Vz \times Y_c + V_{rel} \times Y_{rel}$$

$$MRVT = W \times \left(\frac{B}{2}\right)$$

$$MVC_{x,y} = FC_{x,y} \times (D + AST) - C_{\max} \left(\frac{B}{2}\right)$$

$$MVT_{x,y} = FT_{x,y} \times (D + AST) + T_{\max} \left(\frac{B}{2}\right)$$

Entonces, tendremos:

$$MRVC = 7244.26 \text{ kg.m}$$

$$MVCx = 4517.27$$

$$MVCy = 4645.75$$

Verificando el volteo: MRVT/MVC(x,y) tiene que ser mayor a 1.50

$$\text{Factor de seguridad al volteo en } x = \frac{7244.26}{4517.27} = 1.60 \quad \text{ok}$$

$$\text{Factor de seguridad al volteo en } y = \frac{7244.26}{4645.75} = 1.56 \quad \text{ok}$$

8.1.2.4 Verificación a la compresión.

Por último, se verifica que la capacidad actuante de la carga sobre el terreno, no supere a la carga admisible del terreno.

$$Q_{adm} \geq Q_{acc}$$

$$Q_{acc} = \frac{FTC - V_{exc} \times Y_s}{B^2} + Q_{MXc} + Q_{MYc}$$

$$FTC = C_{máx} + V_z \times Y_c + V_{rel} \times Y_{rel}$$

$$Q_{Mx,y} = FC_{x,y} \times (D + AST) - C_{máx} \times (D + AST)$$

$$Q_{MXc} = 6 \times M_{XC} / B^3$$

$$Q_{MYc} = 6 \times M_{XY} / B^3$$

Q_{adm} : capacidad admisible del terreno.

Q_{acc} : esfuerzo máx. neto actuante a compresión.

FTC : fuerza total a compresión.

$MC_{x,y}$: momento alrededor del punto “o (B/2)”.

Q_{MXc} : esfuerzo producido por el momento en X.

Q_{MYc} : esfuerzo producido por el momento en Y.

V_{exc} : volumen de excavación.

Para la verificación del esfuerzo mínimo el modelo considera y verifica que la carga está en el tercio medio.

$$Q_{acc \min} = \frac{FTC - V_{exc} \times Y_s}{B^2} - Q_{MXc} - Q_{MYc}$$

8.1.2.5 Diseño de la zapata.

Para el diseño estructural de los elementos de la zapata se utilizó el método de estados límites, el cual establece que la resistencia del elemento, afectada por un factor de reducción de resistencia, debe ser mayor o igual a las acciones inducidas en el elemento.

a) CHEQUEO A CORTANTE DE LA ZAPATA

El cortante de la zapata se revisó en dos condiciones según el ACI: como viga en dos sentidos o punzonamiento y como viga ancha.

a.1) CHEQUEO A CORTANTE POR PUNZONAMIENTO

Para el cálculo del esfuerzo por punzonamiento se utiliza el método empleado para la verificación a la compresión. El esfuerzo cortante resistente por el concreto es:

$$Vu' = \phi \times \frac{1}{3} \times (f'c) \times 0.5 \times 1000, \phi = 0.85$$

$$Vu = \frac{QFTC \times (B^2 - (A + d)^2)}{4 \times (A + d) \times d}$$

Se tendrá que cumplir que:

$$Vu' \geq Vu$$

Donde:

Vu' : Resistencia al esfuerzo cortante por punzonamiento del concreto.

Vu : Esfuerzo cortante por punzonamiento producido por las cargas últimas en la sección.

$QFTC$: Esfuerzo máximo neto que transmite la zapata con cargas de diseño.

$$Vu = \frac{40.04 \times (1.6^2 - (0.45 + 1.5)^2)}{4 \times (0.45 + 1.5) \times 1.5} = 40.04 \text{ KN/m}^2$$

$$Vu' = 0.85 \times \frac{1}{3} \times (210) \times 0.5 \times 1000 = 2916.92 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} > 40.04 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} \quad \textbf{OK}$$

a.2) CHEQUEO A CORTANTE COMO VIGA ANCHA

Para el cálculo del cortante se utiliza el método empleado para la verificación a la compresión. El esfuerzo cortante que resiste el concreto bajo esta condición es:

$$Vo' = \phi \times \frac{1}{6} \times (f'c) \times 0.5 \times 1000, \phi = 0.85$$

$$Vo = \frac{QFTC \times (Lv - d)}{d}$$

Se tendrá que cumplir que:

$$Vo' \geq Vo$$

Donde:

Vo': Resistencia nominal a cortante suministrada por el concreto.

Vo: Esfuerzo cortante de las cargas últimas en la sección.

Lv: longitud del voladizo.

d: altura efectiva de la zapata.

$$Vo = \frac{64.06 \times (0.36 - 0.125)}{0.125} = 120.44$$

$$Vo' = 0.85 \times \frac{1}{6} \times (210) \times 0.5 \times 1000 = 1458.46 > 120.44 \quad \textbf{OK}$$

b) DISEÑO A FLEXIÓN DE LA ZAPATA

Para el diseño a flexión de la zapata se deben tener en cuenta los esfuerzos máximos de diseño calculados.

Para el cálculo del momento en la losa de la zapata se verifica la flexión en la cara del pedestal según el artículo 15.4 del código A.C.I. Para el cálculo del área de refuerzo de la armadura inferior, la presión de diseño para encontrar el momento corresponde a la presión máxima transmitida por el suelo, menos los efectos producidos por el peso propio y peso del relleno sobre la zapata. Se calcula el momento de la zapata en la dirección más desfavorable, considerando la presión total neta sobre el voladizo, según la siguiente ecuación:

Distribución de esfuerzos en la zapata

$$Mu = \frac{1}{2} \times Lv^2 \times QFTC$$

- $Mu = \frac{1}{2} \times (0.36m)^2 \times 40.04KN/m^2 = 2.60KN$

$$P = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.62 \times Mu}{b \times d^2 \times f'c}}\right) \times \frac{f'c}{1.18 \times fy}$$

- $P = \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2.62 \times 6.62 KN}{1.60 \times 1.50^2 \times (210 \frac{kg}{cm^2})}}\right) \times \frac{210 \frac{kg}{cm^2}}{1.18 \times 4200 \frac{kg}{cm^2}} = 0.018 > 0.0018 \text{ ok}$

Cuantía mínima según A.C.I. para zapatas es de $P=0.0018$

➤ Área de acero necesaria: $P \times B \times B$

Donde:

P : cuantía de acero.

B : ancho de zapata.

$$\text{Área de acero} = 0.0018 \times 1.6 \times 1.6 = 0.004608 \text{ m}^2 = 4608 \text{ mm}^2$$

Área de barrilla de 3/4" = 285 mm², entonces necesitamos 17 barillas de 3/4"

$$\text{Área de barrillas de 3/4"} = 17 \times 285 \text{ mm}^2 = 4845.40 \text{ mm}^2 > 4096 \text{ mm}^2 \quad \text{ok}$$

8.1.2.6 Diseño de depestal.

El criterio de diseño para el refuerzo longitudinal colocado en el pedestal es el de atender la flexión generada por los momentos y por las fuerzas de cortante en la base del depestal y por las cargas axiales de compresión o de tracción.

a) ACERO PARA ATENDER FLEXO TRACCIÓN

En el caso de flexo-tracción se considera que el concreto no trabaja y todo el aporte lo realiza el acero de refuerzo.

$$n \times As \geq \frac{4 \times T \times (A - rec) + 3 \times (MTux + MTuy)/(A - rec)}{0.9 \times fy}$$

Donde:

A: lado del pedestal.

Rec: recubrimiento.

As: área por varilla

MTux,y: momento último generado por las cargas horizontales de diseño en X e Y.

Entonces:

$$n \times As$$

$$\geq \frac{4 \times 98 \text{ KN} \times (0.45\text{m} - 7.5\text{cm}) + 3 \times (17051.42 \text{ kg.m} + 17179.91 \text{ kg.m})/(0.45\text{m} - 7.5\text{cm})}{0.9 \times 4200 \text{ kg/cm}^2}$$

$$n \times As \geq 0.00072 \text{ m}^2$$

Área de barrilla de 1/2" (6 barrillas) = 6*0.00013 m² = 0.00076 m² > 0.00072 m² **ok**

b) ACERO PARA ATENDER FLEXO COMPRESIÓN

En la sección controlada por compresión, la capacidad o carga de diseño a la falla estará dada por:

$$\phi P_n = \phi \left(\frac{A_s \times f_y}{\frac{e}{d-d'} + 0.5} + \frac{bt \times f'_c}{\frac{3te}{d^2} + 1.18} \right)$$

Para los miembros sometidos a esfuerzo de compresión axial y a esfuerzos de flexión, deben estar diseñados de manera que satisfagan las condiciones siguientes:

Para flexo-compresión:

Si:

$$\frac{\phi P_n}{P_u} \leq 0.15 \text{ entonces } \frac{P_u}{\phi P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi M_{Cux}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{Cuy}} \leq 1$$

O si no:

$$\frac{P_u}{0.6 P_n} + \frac{M_{ux}}{\phi M_{Cux}} + \frac{M_{uy}}{\phi M_{Cuy}} \leq 1$$

Donde:

As: área del refuerzo a compresión

Para el cálculo de la separación de estribos:

$$S = \phi \times A_v \times f_y \times d' / V_u$$

Diam(1/2")	Smax	Vu (kg)	3/8"	cantidad de estribos
1.27000	10.16	978.912	0.710	10

8.1.3 Resultado.

9 CONCLUSIONES

9.1 Análisis de la torre debido a la carga muerta, viva y viento.

- Las cargas que interactúan en una torre pueden ser muchas, como el caso de: cargas muertas, cargas vivas o excepciones, viento, ráfaga, nieve, y hasta sísmica. Sin embargo, para torres que se encuentren menos de los 1000 m.s.n.m., dentro del territorio peruano, se podrá sugerir analizar las torres solamente debido a las cargas muertas, vivas o excepciones, y viento, siempre y cuando no se tengan condiciones adversas medibles in-situ.

- En Perú, existen varias fuentes para conocer la presión del viento en estructuras con gran dimensión altitudinal, tales son los casos, del Código Nacional de Electricidad como la del Reglamento Nacional de Edificaciones. Sin embargo, para poder hacer el análisis de la torre de transmisión de energía eléctrica, se recomienda usar el Código Nacional, no por ser mejor, sino por ser más desfavorable a la hora de diseñar. Usar el Código Nacional de Electricidad para el análisis de la torre a menos de 1000 m.s.n.m., siempre y cuando no se tengan condiciones adversas medibles en el sitio de estudio.

- Se optó por utilizar la presión debido a la carga de viento, según lo estipulado en el Código Nacional de Electricidad. La carga que fue puesta para análisis fue de **$P_v=38.60 \text{ kg/m}^2$** .

- Como resultados finales del análisis, se hizo entrega de las barras que más trabajan a tracción y compresión, llegando a obtener una fuerza de tracción máxima de 7.00 toneladas, y una fuerza de compresión máxima de 9.80 toneladas. Asimismo, se obtuvo los mayores desplazamientos de cada barra, obteniendo un desplazamiento en dirección X de (-0.5cm; 2.5cm) y un desplazamiento en dirección Y de (0.00 cm; 5.50 cm).

Fuerza de tracción máxima = 7.00 ton

Fuerza de compresión máxima = 9.80 ton

- El diseño de la cimentación para esta torre fue elaborada mediante la verificación de arrancamiento, siendo está un punto muy importante debido a las fuerzas de viento; verificación al volteo y verificación a la compresión. Asimismo, se diseñó el cimientado mediante el chequeo a cortante por punzonamiento y como viga ancha. También se diseñó el pedestal mediante el flexo tracción y compresión.

En resumen se obtuvo lo siguiente:

10 RECOMENDACIONES

- El pre-dimensionamiento es un buen método iterativo para conseguir el primer paso para el análisis y diseño de una torre. Se recomienda optar por un ángulo metálico de ACERO A60, con una longitud no tan robusta. En nuestro caso, el pre-dimensionamiento, se dio con un ángulo de: L2.5x2.5x3/8 (en pulgadas).
- La torre analizada debido a ser una estructura reticular, trabaja solo a tracción y compresión (caso ideal para estas estructuras) y para eso se tendrá que restringir los momentos en cada nodo de intersección entre barras. Sin embargo, según el estudio hecho, se recomienda además de restringir todos los nodos de la estructura, mantener los momentos en todos los nodos de los montantes de la torre, debido a que se tendrán desplazamientos de unidades inmensurables, totalmente falsas. Por último, para el uso de los resultados del software y el posterior diseño de las barras que compondrán la estructura, se recomienda que todas las barras de la torre estén subdivididos.
- Se recomienda compatibilizar las cargas muertas debido al software SAP2000, con un metrado de la estructura en su forma de pre-modelado con el fin de corroborar los resultados finales del programa.
- Se recomienda hacer uso de otros programas para facilitar el proceso del análisis, tales como: robot, tekla, etc.
- Para ampliar este campo del análisis y diseño, se recomienda que en futuras investigaciones se investigue torres de mayor altura y con figuras asimétricas.
- Se recomienda en futuras investigaciones evaluar la torre con cargas de impacto.

11 BIBLIOGRAFÍA

- Specification for Structural Steel Buildings – (American Institute of Steel Construction (AISC))
- Specification for Structural Steel Buildings de 2010 (Especificación para edificios de acero estructural de 2010)
- ASCE 10-97 : Design of Latticed Steel Transmission Structures
- AISC Steel Construction Manual (Manual de construcción en acero del AISC)
- Diseño de Estructuras de Acero 5ta Edición - JACK C. McCORMAC
- Código Nacional de Electricidad (CNE)

DIAGRAMA DE CARGAS

Elaboración propia – cargas en kN

13 ANEXO 2

a) Dibujar el modelo estructural en autocad para su mejor manejo en sap2000.

b) Guardar el archivo en (*.dxf) para su posterior importación al sap2000.

c) Luego importamos el archivo (*.dxf) al sap2000.

d) Una vez importado el archivo al sap2000, empezamos con el modelamiento. Primero definiremos el material y le colocaremos una sección típica, para esto, importaremos los perfiles a utilizar. En nuestro caso en perfil a utilizar será el ángulo L2.5x2.5x3/8

Una vez importado los perfiles, y con mayor importancia el perfil nombrado líneas arriba, procedemos a seleccionar todas las barras para posteriormente asignarle el perfil a utilizar.

- e) Ahora bien tendremos que seleccionar el tipo de apoyo que tendrá la estructura, la cual será del tipo fijo.

- f) Ahora pasaremos a definir los patrones de carga. En ellas crearemos la carga muera (DEAD); los casos de cargas, en nuestro caso tenemos 6 tipos de cargas mostradas en el anexo 1, por eso creamos 6 tipos de casos (CASO 1, CASO 2, CASO 3, CASO 4, CASO 5 Y CASO 6), y las cargas de viento en los cuatro sentidos (viento, viento 2, viento 3 y viento 4)

- g) Definiremos las combinaciones de cargas. Estas combinaciones están expuestas en el capítulo 3.

- h) Ahora haremos las restricciones de liberaciones de rotación y así delimitando a la estructura a que se comporte de forma ideal, donde solo haya tracción y compresión.

- i) Ahora de la misma forma, tendremos que asignar restricciones y liberación de momentos en los nodos, esto es debido a que la estructura estudiado son de tipo articulados. Para hacer las liberaciones de momentos, usaremos el comando “releases” y liberaremos “M22 Y M33”

- j) Tendremos que aplicar las fuerzas externas a los puntos de aplicación según en diagrama de árbol visto en el anexo 1.

En la siguiente gráfica solo se verá la puesta de las cargas en un solo 3 puntos correspondientes al caso 1; cabiendo mencionar que los criterios para la colocación de estas cargas, se ven explyados en el documento, capítulo 5.

Ahora veremos las cargas aplicadas debido a la presión del viento a cada cara de la torre de transmisión de energía eléctrica.

k) Para ya terminar, correremos el programa.

- 1) Por último, recopilaremos los resultados. En donde seleccionaremos ANALYSIS RESULTS-JOINT OUTPUT-DISPLACEMENTS-TABLE: JOINT DISPLACEMENTS. También, ANALYSIS RESULTS-ELEMENT OUTPUT-FRAME OUTPUT-TABLE:ELEMENT FORCES-FRAMES.

- m) Una vez hecho eso, podemos ok, y lo exportamos a Excel.

14 ANEXO 3

a) TABLA DE RESULTADOS-ESFUERZOS DE LAS 100 PRIMERAS BARRAS

TABLE: Element Forces – Frames				
Frame	Station	OutputCase	StepType	P
Text	m	Text	Text	Tonf
1	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,5094
1	0,5	U_ENVOLVENTE	Max	0,5094
1	1	U_ENVOLVENTE	Max	0,5094
1	0	U_ENVOLVENTE	Min	-1,2432
1	0,5	U_ENVOLVENTE	Min	-1,2432
1	1	U_ENVOLVENTE	Min	-1,2432
2	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0093
2	0,42353	U_ENVOLVENTE	Max	0,0093
2	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,015
2	0,42353	U_ENVOLVENTE	Min	-0,015
3	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0355
3	0,42353	U_ENVOLVENTE	Max	0,0355
3	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0504
3	0,42353	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0504
4	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,026
4	0,42353	U_ENVOLVENTE	Max	0,026
4	0,84706	U_ENVOLVENTE	Max	0,026
4	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0492
4	0,42353	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0492
4	0,84706	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0492
5	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,03
5	0,42353	U_ENVOLVENTE	Max	0,03
5	0,84706	U_ENVOLVENTE	Max	0,03
5	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0651
5	0,42353	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0651
5	0,84706	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0651
6	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0119
6	0,42353	U_ENVOLVENTE	Max	0,0119
6	0,84706	U_ENVOLVENTE	Max	0,0119
6	1,27058	U_ENVOLVENTE	Max	0,0119
6	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0666
6	0,42353	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0666
6	0,84706	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0666
6	1,27058	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0666
9	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,1225
9	0,52787	U_ENVOLVENTE	Max	0,1277
9	1,05575	U_ENVOLVENTE	Max	0,1329
9	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0834
9	0,52787	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0781
9	1,05575	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0729
10	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0355

10	0,63007	U_ENVOLVENTE	Max	0,0407
10	1,26014	U_ENVOLVENTE	Max	0,0459
10	0	U_ENVOLVENTE	Min	0,0152
10	0,63007	U_ENVOLVENTE	Min	0,0191
10	1,26014	U_ENVOLVENTE	Min	0,0231
11	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0399
11	0,63007	U_ENVOLVENTE	Max	0,0451
11	1,26014	U_ENVOLVENTE	Max	0,0503
11	0	U_ENVOLVENTE	Min	0,0135
11	0,63007	U_ENVOLVENTE	Min	0,0174
11	1,26014	U_ENVOLVENTE	Min	0,0213
12	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,1797
12	0,52787	U_ENVOLVENTE	Max	0,185
12	1,05575	U_ENVOLVENTE	Max	0,1902
12	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1116
12	0,52787	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1063
12	1,05575	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1011
13	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,031
13	0,31765	U_ENVOLVENTE	Max	0,031
13	0,63529	U_ENVOLVENTE	Max	0,031
13	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0533
13	0,31765	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0533
13	0,63529	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0533
14	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,1253
14	0,31765	U_ENVOLVENTE	Max	0,1253
14	0,63529	U_ENVOLVENTE	Max	0,1253
14	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1829
14	0,31765	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1829
14	0,63529	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1829
15	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0331
15	0,48235	U_ENVOLVENTE	Max	0,0331
15	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0538
15	0,48235	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0538
16	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,1365
16	0,48235	U_ENVOLVENTE	Max	0,1365
16	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1843
16	0,48235	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1843
17	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0179
17	0,48235	U_ENVOLVENTE	Max	0,0179
17	0,9647	U_ENVOLVENTE	Max	0,0179
17	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0748
17	0,48235	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0748
17	0,9647	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0748
20	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,1731
20	0,61253	U_ENVOLVENTE	Max	0,1783
20	1,22506	U_ENVOLVENTE	Max	0,1835
20	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1486

20	0,61253	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1434
20	1,22506	U_ENVOLVENTE	Min	-0,1382
21	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,0451
21	0,61253	U_ENVOLVENTE	Max	0,0503
21	1,22506	U_ENVOLVENTE	Max	0,0555
21	0	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0567
21	0,61253	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0515
21	1,22506	U_ENVOLVENTE	Min	-0,0463
24	0	U_ENVOLVENTE	Max	0,1573

**b) TABLA DE RESULTADOS-DESPLAZAMIENTOS-PARA LAS 20 PRIMEROS
NUDOS Y SIS 59 COMBINACIONES**

TABLE: Joint Displacements						
Join t	OutputCas e	CaseType	StepTyp e	U1	U2	U3
Text	Text	Text	Text	m	m	m
1	U1	Combination		-0,000159	6,652E-07	-0,000405
1	U2	Combination		0,01215	-7,572E-06	-0,001789
1	U3	Combination		0,011099	-7,608E-06	-0,00171
1	U4	Combination		0,011605	0,000557	-0,001705
1	U5	Combination		0,011609	-0,000572	-0,00179
1	U6	Combination		0,00167	0,025164	0,001566
1	U7	Combination		0,000619	0,025164	0,001645
1	U8	Combination		0,001125	0,025729	0,001649
1	U9	Combination		0,00113	0,024599	0,001564
1	U10	Combination		0,001723	0,011926	0,000181
1	U11	Combination		0,000671	0,011926	0,000261
1	U12	Combination		0,001177	0,012491	0,000265
1	U13	Combination		0,001182	0,011362	0,00018
1	U14	Combination		0,002022	0,012674	0,000336
1	U15	Combination		0,00097	0,012674	0,000415
1	U16	Combination		0,001476	0,013239	0,00042
1	U17	Combination		0,001481	0,012109	0,000335
1	U18	Combination		0,001263	0,008426	-0,000407
1	U19	Combination		0,000212	0,008426	-0,000328
1	U20	Combination		0,000718	0,00899	-0,000323
1	U21	Combination		0,000723	0,007861	-0,000408
1	U22	Combination		-0,001991	-0,00000419	-0,002017
1	U23	Combination		-0,003043	-4,227E-06	-0,001938
1	U24	Combination		-0,002537	0,000561	-0,001934
1	U25	Combination		-0,002532	-0,000569	-0,002018
1	U26	Combination		0,004619	-0,00000194	-0,000866
1	U27	Combination		0,002517	-2,012E-06	-0,000708
1	U28	Combination		0,003529	0,001128	-0,000699
1	U29	Combination		0,003538	-0,001131	-0,000869

1	U30	Combination	0,001344	0,007864	0,000182
1	U31	Combination	-0,000758	0,007864	0,00034
1	U32	Combination	0,000254	0,008994	0,000349
1	U33	Combination	0,000263	0,006735	0,000179
1	U34	Combination	0,001361	0,003727	-0,00025
1	U35	Combination	-0,000742	0,003727	-0,000092
1	U36	Combination	0,00027	0,004857	-0,000084
1	U37	Combination	0,00028	0,002598	-0,000254
1	U38	Combination	0,001454	0,003961	-0,000202
1	U39	Combination	-0,000648	0,003961	-0,000044
1	U40	Combination	0,000364	0,00509	-0,000035
1	U41	Combination	0,000373	0,002832	-0,000205
1	U42	Combination	0,001217	0,002633	-0,000434
1	U43	Combination	-0,000885	0,002633	-0,000276
1	U44	Combination	0,000127	0,003763	-0,000268
1	U45	Combination	0,000136	0,001504	-0,000437
1	U46	Combination	0,0002	-8,829E-07	-0,000937
1	U47	Combination	-0,001902	-9,555E-07	-0,000779
1	U48	Combination	-0,00089	0,001129	-0,000771
1	U49	Combination	-0,000881	-0,00113	-0,000941
1	U50	Combination	0,000983	4,685E-07	-0,000341
1	U51	Combination	-0,001119	3,959E-07	-0,000183
1	U52	Combination	-0,000107	0,00113	-0,000175
1	U53	Combination	-0,000098	-0,001129	-0,000345
1	U54	Combination	0,011607	-7,592E-06	-0,001748
1	U55	Combination	0,001127	0,025164	0,001606
1	U56	Combination	0,00118	0,011926	0,000222
1	U57	Combination	0,001479	0,012674	0,000377
1	U58	Combination	0,00072	0,008426	-0,000366
1	U59	Combination	-0,002534	-4,211E-06	-0,001976
2	U1	Combination	-0,000159	0,00000116	-0,000445
2	U2	Combination	0,01216	-0,00000229	0,000242
2	U3	Combination	0,011109	-2,312E-06	0,000162
2	U4	Combination	0,011615	0,000563	0,000243
2	U5	Combination	0,01162	-0,000567	0,000158
2	U6	Combination	0,001725	0,025203	0,001737
2	U7	Combination	0,000674	0,025203	0,001658
2	U8	Combination	0,00118	0,025768	0,001739
2	U9	Combination	0,001184	0,024638	0,001654
2	U10	Combination	0,00174	0,012684	0,000557
2	U11	Combination	0,000689	0,012684	0,000478
2	U12	Combination	0,001195	0,013249	0,000558
2	U13	Combination	0,001199	0,012119	0,000473
2	U14	Combination	0,002053	0,011933	0,000406
2	U15	Combination	0,001002	0,011933	0,000327
2	U16	Combination	0,001508	0,012498	0,000408
2	U17	Combination	0,001513	0,011369	0,000322

2	U18	Combination	0,001241	0,007912	0,000101
2	U19	Combination	0,00019	0,007912	0,000021
2	U20	Combination	0,000696	0,008476	0,000102
2	U21	Combination	0,0007	0,007347	0,000017
2	U22	Combination	-0,001955	-0,000024	-0,002798
2	U23	Combination	-0,003006	-0,000024	-0,002878
2	U24	Combination	-0,0025	0,000541	-0,002797
2	U25	Combination	-0,002496	-0,000589	-0,002882
2	U26	Combination	0,004623	-8,406E-08	-0,000117
2	U27	Combination	0,00252	-1,266E-07	-0,000276
2	U28	Combination	0,003532	0,00113	-0,000114
2	U29	Combination	0,003541	-0,00113	-0,000284
2	U30	Combination	0,001361	0,007877	0,00035
2	U31	Combination	-0,000741	0,007877	0,000192
2	U32	Combination	0,000271	0,009006	0,000354
2	U33	Combination	0,00028	0,006747	0,000183
2	U34	Combination	0,001366	0,003964	-0,000019
2	U35	Combination	-0,000736	0,003964	-0,000177
2	U36	Combination	0,000276	0,005094	-0,000015
2	U37	Combination	0,000285	0,002835	-0,000186
2	U38	Combination	0,001464	0,00373	-0,000066
2	U39	Combination	-0,000638	0,00373	-0,000224
2	U40	Combination	0,000374	0,00486	-0,000063
2	U41	Combination	0,000383	0,0026	-0,000233
2	U42	Combination	0,00121	0,002473	-0,000161
2	U43	Combination	-0,000892	0,002473	-0,00032
2	U44	Combination	0,00012	0,003603	-0,000158
2	U45	Combination	0,000129	0,001343	-0,000328
2	U46	Combination	0,000211	-6,883E-06	-0,001067
2	U47	Combination	-0,001891	-6,926E-06	-0,001226
2	U48	Combination	-0,000879	0,001123	-0,001064
2	U49	Combination	-0,00087	-0,001136	-0,001234
2	U50	Combination	0,000984	6,842E-07	-0,000204
2	U51	Combination	-0,001119	6,416E-07	-0,000362
2	U52	Combination	-0,000107	0,00113	-0,0002
2	U53	Combination	-0,000098	-0,001129	-0,000371
2	U54	Combination	0,011618	-0,00000226	0,0002
2	U55	Combination	0,001182	0,025203	0,001696
2	U56	Combination	0,001197	0,012684	0,000515
2	U57	Combination	0,00151	0,011933	0,000365
2	U58	Combination	0,000698	0,007912	0,000059
2	U59	Combination	-0,002498	-0,000024	-0,00284
3	U1	Combination	-0,000138	0,000138	-0,000064
3	U2	Combination	-0,000744	0,000779	-0,000352
3	U3	Combination	-0,000713	0,000729	-0,000331
3	U4	Combination	-0,000701	0,000736	-0,000329
3	U5	Combination	-0,000754	0,000771	-0,000353

3	U6	Combination	0,000836	-0,000797	0,000362
3	U7	Combination	0,000868	-0,000847	0,000384
3	U8	Combination	0,00088	-0,00084	0,000385
3	U9	Combination	0,000826	-0,000805	0,000362
3	U10	Combination	0,000101	-0,000355	0,000101
3	U11	Combination	0,000133	-0,000405	0,000123
3	U12	Combination	0,000145	-0,000398	0,000124
3	U13	Combination	0,000091	-0,000363	0,000101
3	U14	Combination	0,00043	-0,000087	0,000112
3	U15	Combination	0,000462	-0,000137	0,000134
3	U16	Combination	0,000474	-0,00013	0,000135
3	U17	Combination	0,00042	-0,000095	0,000112
3	U18	Combination	-0,000028	-0,000192	0,000045
3	U19	Combination	3,739E-06	-0,000242	0,000067
3	U20	Combination	0,000016	-0,000235	0,000068
3	U21	Combination	-0,000038	-0,0002	0,000045
3	U22	Combination	-0,000523	0,000577	-0,00026
3	U23	Combination	-0,000492	0,000527	-0,000238
3	U24	Combination	-0,000479	0,000534	-0,000237
3	U25	Combination	-0,000533	0,000569	-0,00026
3	U26	Combination	-0,000343	0,000369	-0,000167
3	U27	Combination	-0,000279	0,000268	-0,000124
3	U28	Combination	-0,000255	0,000282	-0,000121
3	U29	Combination	-0,000363	0,000352	-0,000168
3	U30	Combination	0,000151	-0,000124	0,000056
3	U31	Combination	0,000215	-0,000224	0,000099
3	U32	Combination	0,000239	-0,00021	0,000102
3	U33	Combination	0,000131	-0,00014	0,000055
3	U34	Combination	-0,000078	0,000014	-0,000025
3	U35	Combination	-0,000015	-0,000086	0,000018
3	U36	Combination	9,047E-06	-0,000072	0,00002
3	U37	Combination	-0,000099	-1,936E-06	-0,000026
3	U38	Combination	0,000025	0,000098	-0,000022
3	U39	Combination	0,000088	-2,144E-06	0,000021
3	U40	Combination	0,000112	0,000012	0,000024
3	U41	Combination	4,341E-06	0,000082	-0,000023
3	U42	Combination	-0,000119	0,000065	-0,000043
3	U43	Combination	-0,000056	-0,000035	3,491E-07
3	U44	Combination	-0,000031	-0,000021	0,00000277
3	U45	Combination	-0,000139	0,000049	-0,000044
3	U46	Combination	-0,000274	0,000306	-0,000138
3	U47	Combination	-0,00021	0,000205	-0,000095
3	U48	Combination	-0,000186	0,000219	-0,000093
3	U49	Combination	-0,000294	0,000289	-0,000139
3	U50	Combination	-0,000123	0,000141	-0,000064
3	U51	Combination	-0,00006	0,00004	-0,000021
3	U52	Combination	-0,000035	0,000055	-0,000018

3	U53	Combination	-0,000143	0,000125	-0,000065
3	U54	Combination	-0,000727	0,000753	-0,000341
3	U55	Combination	0,000853	-0,000823	0,000373
3	U56	Combination	0,000118	-0,000381	0,000113
3	U57	Combination	0,000447	-0,000113	0,000124
3	U58	Combination	-0,000011	-0,000218	0,000056
3	U59	Combination	-0,000506	0,000551	-0,000249
4	U1	Combination	-0,000138	0,000138	-0,000087
4	U2	Combination	-0,000744	0,000718	-0,000455
4	U3	Combination	-0,000713	0,000509	-0,000417
4	U4	Combination	-0,000701	0,000927	-0,000445
4	U5	Combination	-0,000755	0,000802	-0,000464
4	U6	Combination	0,000837	-0,000873	0,000494
4	U7	Combination	0,000868	-0,001082	0,000532
4	U8	Combination	0,00088	-0,000665	0,000504
4	U9	Combination	0,000827	-0,000789	0,000485
4	U10	Combination	0,000101	-0,000312	0,000111
4	U11	Combination	0,000133	-0,000521	0,000148
4	U12	Combination	0,000145	-0,000103	0,000121
4	U13	Combination	0,000091	-0,000227	0,000101
4	U14	Combination	0,000431	-0,000257	0,000194
4	U15	Combination	0,000462	-0,000467	0,000232
4	U16	Combination	0,000474	-0,000049	0,000204
4	U17	Combination	0,00042	-0,000173	0,000185
4	U18	Combination	-0,000028	-0,000147	0,000036
4	U19	Combination	3,822E-06	-0,000357	0,000073
4	U20	Combination	0,000016	0,000061	0,000045
4	U21	Combination	-0,000038	-0,000063	0,000026
4	U22	Combination	-0,000523	0,00053	-0,000334
4	U23	Combination	-0,000492	0,000321	-0,000296
4	U24	Combination	-0,00048	0,000738	-0,000324
4	U25	Combination	-0,000533	0,000614	-0,000344
4	U26	Combination	-0,000343	0,000272	-0,00021
4	U27	Combination	-0,000279	-0,000146	-0,000135
4	U28	Combination	-0,000255	0,000689	-0,00019
4	U29	Combination	-0,000363	0,00044	-0,000229
4	U30	Combination	0,000151	-0,000225	0,000087
4	U31	Combination	0,000215	-0,000644	0,000162
4	U32	Combination	0,000239	0,000191	0,000106
4	U33	Combination	0,000131	-0,000057	0,000068
4	U34	Combination	-0,000078	-0,00005	-0,000033
4	U35	Combination	-0,000015	-0,000468	0,000042
4	U36	Combination	9,081E-06	0,000367	-0,000014
4	U37	Combination	-0,000099	0,000119	-0,000052
4	U38	Combination	0,000025	-0,000033	-6,948E-06
4	U39	Combination	0,000088	-0,000451	0,000068
4	U40	Combination	0,000112	0,000384	0,000013

4	U41	Combination	4,357E-06	0,000136	-0,000026
4	U42	Combination	-0,000119	1,397E-06	-0,000057
4	U43	Combination	-0,000055	-0,000417	0,000019
4	U44	Combination	-0,000031	0,000418	-0,000037
4	U45	Combination	-0,000139	0,00017	-0,000076
4	U46	Combination	-0,000274	0,000213	-0,000172
4	U47	Combination	-0,00021	-0,000205	-0,000097
4	U48	Combination	-0,000186	0,00063	-0,000153
4	U49	Combination	-0,000294	0,000382	-0,000191
4	U50	Combination	-0,000123	0,000049	-0,000075
4	U51	Combination	-0,000059	-0,00037	-1,396E-07
4	U52	Combination	-0,000035	0,000466	-0,000056
4	U53	Combination	-0,000143	0,000217	-0,000095
4	U54	Combination	-0,000727	0,000738	-0,000445
4	U55	Combination	0,000854	-0,000853	0,000504
4	U56	Combination	0,000118	-0,000291	0,000121
4	U57	Combination	0,000448	-0,000237	0,000204
4	U58	Combination	-0,000011	-0,000127	0,000045
4	U59	Combination	-0,000506	0,00055	-0,000324
5	U1	Combination	0,000152	0,000151	-0,000094
5	U2	Combination	-0,000283	-0,00052	0,000196
5	U3	Combination	-0,000252	-0,000311	0,000158
5	U4	Combination	-0,000294	-0,000101	0,000167
5	U5	Combination	-0,000239	-0,000225	0,000148
5	U6	Combination	-0,000957	-0,001214	0,0006
5	U7	Combination	-0,000926	-0,001005	0,000562
5	U8	Combination	-0,000968	-0,000795	0,000571
5	U9	Combination	-0,000913	-0,000919	0,000552
5	U10	Combination	-0,000568	-0,000603	0,000307
5	U11	Combination	-0,000537	-0,000394	0,00027
5	U12	Combination	-0,000579	-0,000184	0,000279
5	U13	Combination	-0,000524	-0,000308	0,000259
5	U14	Combination	-0,000241	-0,000662	0,000225
5	U15	Combination	-0,00021	-0,000452	0,000188
5	U16	Combination	-0,000253	-0,000242	0,000197
5	U17	Combination	-0,000198	-0,000366	0,000177
5	U18	Combination	-0,000382	-0,000377	0,000193
5	U19	Combination	-0,000351	-0,000167	0,000155
5	U20	Combination	-0,000393	0,000043	0,000164
5	U21	Combination	-0,000339	-0,000082	0,000145
5	U22	Combination	0,000744	0,00048	-0,000408
5	U23	Combination	0,000775	0,000689	-0,000445
5	U24	Combination	0,000733	0,000899	-0,000436
5	U25	Combination	0,000787	0,000775	-0,000456
5	U26	Combination	-0,000026	-0,000464	0,000054
5	U27	Combination	0,000036	-0,000045	-0,000021
5	U28	Combination	-0,000048	0,000375	-3,411E-06

5	U29	Combination	0,000061	0,000127	-0,000042
5	U30	Combination	-0,000236	-0,00068	0,00018
5	U31	Combination	-0,000174	-0,000261	0,000105
5	U32	Combination	-0,000259	0,000158	0,000123
5	U33	Combination	-0,00015	-0,00009	0,000084
5	U34	Combination	-0,000115	-0,00049	0,000089
5	U35	Combination	-0,000053	-0,000071	0,000014
5	U36	Combination	-0,000137	0,000349	0,000032
5	U37	Combination	-0,000028	0,000101	-7,435E-06
5	U38	Combination	-0,000013	-0,000508	0,000063
5	U39	Combination	0,000049	-0,000089	-0,000012
5	U40	Combination	-0,000035	0,000331	5,871E-06
5	U41	Combination	0,000074	0,000083	-0,000033
5	U42	Combination	-0,000057	-0,000419	0,000053
5	U43	Combination	5,392E-06	1,964E-07	-0,000022
5	U44	Combination	-0,000079	0,00042	-4,284E-06
5	U45	Combination	0,00003	0,000172	-0,000043
5	U46	Combination	0,000295	-0,000151	-0,000135
5	U47	Combination	0,000357	0,000268	-0,00021
5	U48	Combination	0,000273	0,000688	-0,000192
5	U49	Combination	0,000382	0,000439	-0,000231
5	U50	Combination	0,000066	-0,000365	-3,193E-06
5	U51	Combination	0,000128	0,000054	-0,000078
5	U52	Combination	0,000043	0,000474	-0,000061
5	U53	Combination	0,000152	0,000225	-0,0001
5	U54	Combination	-0,000267	-0,000289	0,000167
5	U55	Combination	-0,000941	-0,000983	0,000571
5	U56	Combination	-0,000552	-0,000372	0,000279
5	U57	Combination	-0,000226	-0,00043	0,000197
5	U58	Combination	-0,000366	-0,000146	0,000164
5	U59	Combination	0,00076	0,000711	-0,000436
6	U1	Combination	0,000152	0,000152	-0,00007
6	U2	Combination	-0,000282	-0,000332	0,000145
6	U3	Combination	-0,000251	-0,000281	0,000123
6	U4	Combination	-0,000294	-0,000322	0,000145
6	U5	Combination	-0,000239	-0,000288	0,000122
6	U6	Combination	-0,000956	-0,000986	0,000441
6	U7	Combination	-0,000925	-0,000935	0,000419
6	U8	Combination	-0,000967	-0,000977	0,000441
6	U9	Combination	-0,000912	-0,000942	0,000418
6	U10	Combination	-0,000567	-0,00028	0,000196
6	U11	Combination	-0,000536	-0,000229	0,000174
6	U12	Combination	-0,000578	-0,00027	0,000196
6	U13	Combination	-0,000524	-0,000236	0,000173
6	U14	Combination	-0,000241	-0,000552	0,000186
6	U15	Combination	-0,00021	-0,000501	0,000164
6	U16	Combination	-0,000252	-0,000542	0,000186

6	U17	Combination	-0,000198	-0,000508	0,000163
6	U18	Combination	-0,000382	-0,000054	0,000108
6	U19	Combination	-0,000351	-0,00000291	0,000086
6	U20	Combination	-0,000393	-0,000044	0,000108
6	U21	Combination	-0,000338	-0,00001	0,000085
6	U22	Combination	0,000743	0,000684	-0,00031
6	U23	Combination	0,000774	0,000734	-0,000331
6	U24	Combination	0,000732	0,000693	-0,000309
6	U25	Combination	0,000787	0,000727	-0,000332
6	U26	Combination	-0,000026	-0,000058	0,000023
6	U27	Combination	0,000036	0,000043	-0,00002
6	U28	Combination	-0,000048	-0,000039	0,000024
6	U29	Combination	0,000061	0,000029	-0,000023
6	U30	Combination	-0,000236	-0,000263	0,000115
6	U31	Combination	-0,000174	-0,000161	0,000072
6	U32	Combination	-0,000258	-0,000244	0,000116
6	U33	Combination	-0,00015	-0,000176	0,00007
6	U34	Combination	-0,000115	-0,000042	0,000039
6	U35	Combination	-0,000053	0,000059	-4,446E-06
6	U36	Combination	-0,000137	-0,000023	0,00004
6	U37	Combination	-0,000028	0,000045	-0,00000683
6	U38	Combination	-0,000013	-0,000127	0,000036
6	U39	Combination	0,000049	-0,000026	-7,478E-06
6	U40	Combination	-0,000035	-0,000108	0,000036
6	U41	Combination	0,000074	-0,00004	-9,862E-06
6	U42	Combination	-0,000057	0,000029	0,000011
6	U43	Combination	5,373E-06	0,00013	-0,000032
6	U44	Combination	-0,000079	0,000048	0,000012
6	U45	Combination	0,00003	0,000116	-0,000034
6	U46	Combination	0,000295	0,000259	-0,000119
6	U47	Combination	0,000357	0,00036	-0,000162
6	U48	Combination	0,000272	0,000278	-0,000118
6	U49	Combination	0,000381	0,000346	-0,000165
6	U50	Combination	0,000066	0,000045	-0,000023
6	U51	Combination	0,000128	0,000147	-0,000066
6	U52	Combination	0,000043	0,000064	-0,000022
6	U53	Combination	0,000152	0,000133	-0,000068
6	U54	Combination	-0,000267	-0,000306	0,000134
6	U55	Combination	-0,00094	-0,00096	0,00043
6	U56	Combination	-0,000551	-0,000254	0,000185
6	U57	Combination	-0,000225	-0,000526	0,000175
6	U58	Combination	-0,000366	-0,000028	0,000097
6	U59	Combination	0,000759	0,00071	-0,000321
7	U1	Combination	-0,000091	0,000092	-0,0001
7	U2	Combination	-0,000455	0,000524	-0,000545
7	U3	Combination	-0,000449	0,000491	-0,000511
7	U4	Combination	-0,000434	0,000503	-0,000509

7	U5	Combination	-0,000469	0,000511	-0,000546
7	U6	Combination	0,000589	-0,000518	0,000559
7	U7	Combination	0,000595	-0,000551	0,000593
7	U8	Combination	0,000611	-0,000538	0,000595
7	U9	Combination	0,000575	-0,00053	0,000558
7	U10	Combination	-0,000021	-0,000324	0,000157
7	U11	Combination	-0,000016	-0,000357	0,00019
7	U12	Combination	-6,117E-08	-0,000345	0,000192
7	U13	Combination	-0,000036	-0,000337	0,000156
7	U14	Combination	0,000426	0,000071	0,000173
7	U15	Combination	0,000432	0,000037	0,000207
7	U16	Combination	0,000448	0,00005	0,000209
7	U17	Combination	0,000412	0,000058	0,000173
7	U18	Combination	-0,000116	-0,000179	0,00007
7	U19	Combination	-0,000111	-0,000213	0,000104
7	U20	Combination	-0,000095	-0,0002	0,000106
7	U21	Combination	-0,000131	-0,000192	0,00007
7	U22	Combination	-0,000301	0,000387	-0,000403
7	U23	Combination	-0,000296	0,000354	-0,000369
7	U24	Combination	-0,00028	0,000366	-0,000368
7	U25	Combination	-0,000315	0,000374	-0,000404
7	U26	Combination	-0,000202	0,000247	-0,000258
7	U27	Combination	-0,000191	0,00018	-0,000191
7	U28	Combination	-0,000159	0,000205	-0,000187
7	U29	Combination	-0,00023	0,000221	-0,00026
7	U30	Combination	0,000124	-0,000078	0,000087
7	U31	Combination	0,000136	-0,000145	0,000154
7	U32	Combination	0,000167	-0,00012	0,000158
7	U33	Combination	0,000096	-0,000104	0,000085
7	U34	Combination	-0,000066	-0,000018	-0,000039
7	U35	Combination	-0,000055	-0,000085	0,000028
7	U36	Combination	-0,000024	-0,00006	0,000032
7	U37	Combination	-0,000095	-0,000044	-0,000041
7	U38	Combination	0,000074	0,000105	-0,000034
7	U39	Combination	0,000085	0,000038	0,000033
7	U40	Combination	0,000116	0,000064	0,000037
7	U41	Combination	0,000045	0,00008	-0,000035
7	U42	Combination	-0,000096	0,000027	-0,000066
7	U43	Combination	-0,000085	-0,00004	1,073E-06
7	U44	Combination	-0,000053	-0,000015	4,812E-06
7	U45	Combination	-0,000124	1,388E-06	-0,000068
7	U46	Combination	-0,000154	0,000204	-0,000214
7	U47	Combination	-0,000143	0,000137	-0,000147
7	U48	Combination	-0,000111	0,000162	-0,000143
7	U49	Combination	-0,000182	0,000178	-0,000216
7	U50	Combination	-0,000066	0,000094	-0,000099
7	U51	Combination	-0,000054	0,000027	-0,000032

7	U52	Combination	-0,000023	0,000052	-0,000028
7	U53	Combination	-0,000094	0,000068	-0,0001
7	U54	Combination	-0,000451	0,000507	-0,000527
7	U55	Combination	0,000593	-0,000535	0,000577
7	U56	Combination	-0,000018	-0,000341	0,000174
7	U57	Combination	0,00043	0,000053	0,000191
7	U58	Combination	-0,000113	-0,000197	0,000088
7	U59	Combination	-0,000298	0,00037	-0,000386
8	U1	Combination	-0,000091	0,000092	-0,000065
8	U2	Combination	-0,000456	0,000405	-0,000306
8	U3	Combination	-0,00045	0,00019	-0,000276
8	U4	Combination	-0,000435	0,000748	-0,000314
8	U5	Combination	-0,00047	0,000574	-0,000322
8	U6	Combination	0,000591	-0,000672	0,000357
8	U7	Combination	0,000597	-0,000886	0,000387
8	U8	Combination	0,000612	-0,000329	0,000348
8	U9	Combination	0,000577	-0,000502	0,00034
8	U10	Combination	-0,000021	-0,000275	0,000082
8	U11	Combination	-0,000015	-0,000489	0,000112
8	U12	Combination	6,956E-07	0,000068	0,000073
8	U13	Combination	-0,000035	-0,000105	0,000065
8	U14	Combination	0,000427	-0,000229	0,000147
8	U15	Combination	0,000433	-0,000443	0,000177
8	U16	Combination	0,000448	0,000114	0,000139
8	U17	Combination	0,000413	-0,000059	0,000131
8	U18	Combination	-0,000116	-0,000124	0,000027
8	U19	Combination	-0,00011	-0,000338	0,000058
8	U20	Combination	-0,000095	0,000219	0,000019
8	U21	Combination	-0,00013	0,000046	0,000011
8	U22	Combination	-0,000302	0,0003	-0,000231
8	U23	Combination	-0,000296	0,000086	-0,000201
8	U24	Combination	-0,00028	0,000643	-0,00024
8	U25	Combination	-0,000316	0,00047	-0,000247
8	U26	Combination	-0,000202	0,000056	-0,000137
8	U27	Combination	-0,00019	-0,000372	-0,000076
8	U28	Combination	-0,000159	0,000742	-0,000153
8	U29	Combination	-0,00023	0,000395	-0,000169
8	U30	Combination	0,000125	-0,000281	0,00007
8	U31	Combination	0,000137	-0,000709	0,000131
8	U32	Combination	0,000168	0,000406	0,000054
8	U33	Combination	0,000097	0,000059	0,000038
8	U34	Combination	-0,000066	-0,000157	-0,000016
8	U35	Combination	-0,000054	-0,000585	0,000045
8	U36	Combination	-0,000023	0,00053	-0,000032
8	U37	Combination	-0,000094	0,000183	-0,000048
8	U38	Combination	0,000074	-0,000142	0,00000494
8	U39	Combination	0,000085	-0,00057	0,000066

8	U40	Combination	0,000117	0,000544	-0,000012
8	U41	Combination	0,000046	0,000197	-0,000028
8	U42	Combination	-0,000096	-0,000109	-0,000032
8	U43	Combination	-0,000084	-0,000538	0,000028
8	U44	Combination	-0,000053	0,000577	-0,000049
8	U45	Combination	-0,000124	0,00023	-0,000065
8	U46	Combination	-0,000154	0,000023	-0,000113
8	U47	Combination	-0,000142	-0,000405	-0,000053
8	U48	Combination	-0,000111	0,000709	-0,00013
8	U49	Combination	-0,000182	0,000363	-0,000146
8	U50	Combination	-0,000066	-0,000089	-0,000045
8	U51	Combination	-0,000054	-0,000517	0,000016
8	U52	Combination	-0,000023	0,000597	-0,000062
8	U53	Combination	-0,000094	0,000251	-0,000078
8	U54	Combination	-0,000452	0,000479	-0,000304
8	U55	Combination	0,000595	-0,000598	0,000358
8	U56	Combination	-0,000017	-0,000201	0,000083
8	U57	Combination	0,000431	-0,000155	0,000149
8	U58	Combination	-0,000112	-0,00005	0,000029
8	U59	Combination	-0,000298	0,000374	-0,000229
9	U1	Combination	0,000102	0,000101	-0,00007
9	U2	Combination	-0,000147	-0,000469	0,000135
9	U3	Combination	-0,000142	-0,000255	0,000104
9	U4	Combination	-0,000163	0,000089	0,000095
9	U5	Combination	-0,000126	-0,000084	0,000087
9	U6	Combination	-0,000626	-0,000973	0,000432
9	U7	Combination	-0,000621	-0,000758	0,000402
9	U8	Combination	-0,000642	-0,000414	0,000393
9	U9	Combination	-0,000605	-0,000587	0,000385
9	U10	Combination	-0,000476	-0,000532	0,000228
9	U11	Combination	-0,00047	-0,000318	0,000197
9	U12	Combination	-0,000492	0,000026	0,000188
9	U13	Combination	-0,000455	-0,000147	0,00018
9	U14	Combination	-0,00003	-0,000581	0,000163
9	U15	Combination	-0,000024	-0,000366	0,000133
9	U16	Combination	-0,000046	-0,000022	0,000124
9	U17	Combination	-8,654E-06	-0,000195	0,000116
9	U18	Combination	-0,000357	-0,00035	0,000148
9	U19	Combination	-0,000351	-0,000136	0,000118
9	U20	Combination	-0,000372	0,000208	0,000109
9	U21	Combination	-0,000335	0,000035	0,000101
9	U22	Combination	0,000554	0,000191	-0,00028
9	U23	Combination	0,00056	0,000405	-0,000311
9	U24	Combination	0,000539	0,000749	-0,00032
9	U25	Combination	0,000576	0,000576	-0,000328
9	U26	Combination	9,418E-06	-0,000576	0,00005
9	U27	Combination	0,00002	-0,000147	-0,000011

9	U28	Combination	-0,000022	0,000541	-0,000028
9	U29	Combination	0,000052	0,000195	-0,000044
9	U30	Combination	-0,00014	-0,000733	0,000143
9	U31	Combination	-0,000129	-0,000304	0,000082
9	U32	Combination	-0,000171	0,000383	0,000065
9	U33	Combination	-0,000098	0,000037	0,000049
9	U34	Combination	-0,000093	-0,000596	0,000079
9	U35	Combination	-0,000082	-0,000166	0,000018
9	U36	Combination	-0,000125	0,000521	8,136E-07
9	U37	Combination	-0,000051	0,000175	-0,000015
9	U38	Combination	0,000046	-0,000611	0,000059
9	U39	Combination	0,000057	-0,000182	-1,802E-06
9	U40	Combination	0,000015	0,000506	-0,000019
9	U41	Combination	0,000089	0,00016	-0,000036
9	U42	Combination	-0,000056	-0,000539	0,000054
9	U43	Combination	-0,000045	-0,00011	-6,491E-06
9	U44	Combination	-0,000087	0,000578	-0,000024
9	U45	Combination	-0,000014	0,000232	-0,00004
9	U46	Combination	0,000229	-0,00037	-0,00008
9	U47	Combination	0,00024	0,000059	-0,00014
9	U48	Combination	0,000197	0,000747	-0,000158
9	U49	Combination	0,000271	0,000401	-0,000174
9	U50	Combination	0,00006	-0,000514	0,000013
9	U51	Combination	0,000071	-0,000085	-0,000047
9	U52	Combination	0,000029	0,000602	-0,000065
9	U53	Combination	0,000103	0,000256	-0,000081
9	U54	Combination	-0,000144	-0,00018	0,000105
9	U55	Combination	-0,000623	-0,000683	0,000403
9	U56	Combination	-0,000473	-0,000243	0,000198
9	U57	Combination	-0,000027	-0,000291	0,000134
9	U58	Combination	-0,000354	-0,000061	0,000119
9	U59	Combination	0,000557	0,00048	-0,00031
10	U1	Combination	0,000102	0,000101	-0,000108
10	U2	Combination	-0,000146	-0,000225	0,000224
10	U3	Combination	-0,000141	-0,000191	0,000191
10	U4	Combination	-0,000162	-0,00021	0,000225
10	U5	Combination	-0,000125	-0,000203	0,000189
10	U6	Combination	-0,000624	-0,000641	0,000681
10	U7	Combination	-0,000618	-0,000607	0,000648
10	U8	Combination	-0,000639	-0,000626	0,000682
10	U9	Combination	-0,000603	-0,00062	0,000646
10	U10	Combination	-0,000475	-0,000057	0,000303
10	U11	Combination	-0,000469	-0,000024	0,000269
10	U12	Combination	-0,00049	-0,000043	0,000304
10	U13	Combination	-0,000454	-0,000036	0,000267
10	U14	Combination	-0,000029	-0,000454	0,000288
10	U15	Combination	-0,000023	-0,00042	0,000254

10	U16	Combination	-0,000044	-0,00044	0,000289
10	U17	Combination	-7,628E-06	-0,000433	0,000253
10	U18	Combination	-0,000356	0,000117	0,000167
10	U19	Combination	-0,00035	0,000151	0,000134
10	U20	Combination	-0,000371	0,000132	0,000168
10	U21	Combination	-0,000335	0,000138	0,000132
10	U22	Combination	0,000554	0,000462	-0,000478
10	U23	Combination	0,000559	0,000496	-0,000511
10	U24	Combination	0,000538	0,000477	-0,000477
10	U25	Combination	0,000575	0,000484	-0,000513
10	U26	Combination	0,00001	-0,00004	0,000036
10	U27	Combination	0,000021	0,000028	-0,000032
10	U28	Combination	-0,000021	-0,000011	0,000037
10	U29	Combination	0,000052	2,186E-06	-0,000035
10	U30	Combination	-0,000139	-0,00017	0,000178
10	U31	Combination	-0,000129	-0,000102	0,000111
10	U32	Combination	-0,000171	-0,000141	0,00018
10	U33	Combination	-0,000097	-0,000128	0,000108
10	U34	Combination	-0,000093	0,000012	0,00006
10	U35	Combination	-0,000082	0,00008	-7,025E-06
10	U36	Combination	-0,000124	0,000041	0,000061
10	U37	Combination	-0,00005	0,000054	-0,000011
10	U38	Combination	0,000047	-0,000112	0,000055
10	U39	Combination	0,000057	-0,000044	-0,000012
10	U40	Combination	0,000015	-0,000083	0,000057
10	U41	Combination	0,000089	-0,00007	-0,000015
10	U42	Combination	-0,000055	0,000067	0,000018
10	U43	Combination	-0,000045	0,000134	-0,000049
10	U44	Combination	-0,000087	0,000096	0,000019
10	U45	Combination	-0,000013	0,000109	-0,000053
10	U46	Combination	0,000229	0,000175	-0,000184
10	U47	Combination	0,000239	0,000242	-0,000251
10	U48	Combination	0,000197	0,000204	-0,000182
10	U49	Combination	0,000271	0,000217	-0,000255
10	U50	Combination	0,00006	0,00003	-0,000035
10	U51	Combination	0,000071	0,000098	-0,000102
10	U52	Combination	0,000029	0,000059	-0,000034
10	U53	Combination	0,000102	0,000072	-0,000106
10	U54	Combination	-0,000143	-0,000207	0,000207
10	U55	Combination	-0,000621	-0,000623	0,000664
10	U56	Combination	-0,000472	-0,00004	0,000286
10	U57	Combination	-0,000026	-0,000437	0,000271
10	U58	Combination	-0,000353	0,000134	0,00015
10	U59	Combination	0,000556	0,00048	-0,000495
11	U1	Combination	1,779E-06	0,000038	-0,000019
11	U2	Combination	0,000099	-0,000122	-5,225E-06
11	U3	Combination	0,000068	-0,000121	-5,421E-06

11	U4	Combination	0,000083	0,000288	-0,000034
11	U5	Combination	0,000084	0,000135	-0,000027
11	U6	Combination	0,000049	-0,00024	0,000053
11	U7	Combination	0,000018	-0,00024	0,000052
11	U8	Combination	0,000033	0,00017	0,000023
11	U9	Combination	0,000034	0,000016	0,000031
11	U10	Combination	-0,000187	-0,000149	0,000024
11	U11	Combination	-0,000218	-0,000148	0,000024
11	U12	Combination	-0,000203	0,000262	-5,117E-06
11	U13	Combination	-0,000202	0,000108	2,348E-06
11	U14	Combination	0,00028	-0,000153	0,000024
11	U15	Combination	0,000248	-0,000153	0,000024
11	U16	Combination	0,000263	0,000257	-4,827E-06
11	U17	Combination	0,000264	0,000103	2,638E-06
11	U18	Combination	-0,000202	-0,000064	0,000018
11	U19	Combination	-0,000234	-0,000064	0,000018
11	U20	Combination	-0,000219	0,000346	-0,000011
11	U21	Combination	-0,000218	0,000192	-3,766E-06
11	U22	Combination	0,000105	-0,00008	-0,000023
11	U23	Combination	0,000073	-0,000079	-0,000023
11	U24	Combination	0,000088	0,000331	-0,000052
11	U25	Combination	0,000089	0,000177	-0,000045
11	U26	Combination	0,000059	-0,000281	0,00000735
11	U27	Combination	-4,324E-06	-0,00028	6,958E-06
11	U28	Combination	0,000026	0,00054	-0,000051
11	U29	Combination	0,000028	0,000232	-0,000036
11	U30	Combination	0,000044	-0,000318	0,000025
11	U31	Combination	-0,00002	-0,000317	0,000025
11	U32	Combination	0,000011	0,000503	-0,000033
11	U33	Combination	0,000012	0,000195	-0,000018
11	U34	Combination	-0,00003	-0,000289	0,000016
11	U35	Combination	-0,000094	-0,000288	0,000016
11	U36	Combination	-0,000063	0,000531	-0,000042
11	U37	Combination	-0,000061	0,000224	-0,000027
11	U38	Combination	0,000115	-0,000291	0,000017
11	U39	Combination	0,000052	-0,000289	0,000016
11	U40	Combination	0,000083	0,00053	-0,000042
11	U41	Combination	0,000084	0,000222	-0,000027
11	U42	Combination	-0,000035	-0,000263	0,000015
11	U43	Combination	-0,000099	-0,000262	0,000014
11	U44	Combination	-0,000068	0,000558	-0,000044
11	U45	Combination	-0,000066	0,00025	-0,000029
11	U46	Combination	0,000061	-0,000268	1,802E-06
11	U47	Combination	-0,00000266	-0,000266	0,00000141
11	U48	Combination	0,000028	0,000553	-0,000056
11	U49	Combination	0,00003	0,000245	-0,000042
11	U50	Combination	0,000033	-0,00029	0,000012

11	U51	Combination	-0,00003	-0,000289	0,000011
11	U52	Combination	3,575E-07	0,000531	-0,000047
11	U53	Combination	2,075E-06	0,000223	-0,000032
11	U54	Combination	0,000083	0,000035	-0,000017
11	U55	Combination	0,000033	-0,000083	0,000041
11	U56	Combination	-0,000203	8,428E-06	0,000012
11	U57	Combination	0,000264	3,837E-06	0,000012
11	U58	Combination	-0,000218	0,000093	6,024E-06
11	U59	Combination	0,000089	0,000077	-0,000035
12	U1	Combination	2,605E-06	1,362E-06	-0,000137
12	U2	Combination	0,000101	3,986E-07	0,000293
12	U3	Combination	0,000068	2,637E-07	0,000249
12	U4	Combination	0,000084	0,000018	0,000294
12	U5	Combination	0,000084	-0,000016	0,000247
12	U6	Combination	0,000053	0,000063	0,000882
12	U7	Combination	0,000021	0,000063	0,000838
12	U8	Combination	0,000036	0,00008	0,000883
12	U9	Combination	0,000037	0,000046	0,000836
12	U10	Combination	-0,000184	0,000279	0,000394
12	U11	Combination	-0,000217	0,000279	0,00035
12	U12	Combination	-0,000201	0,000297	0,000395
12	U13	Combination	-0,000201	0,000262	0,000348
12	U14	Combination	0,000282	-0,000162	0,000375
12	U15	Combination	0,00025	-0,000162	0,000331
12	U16	Combination	0,000265	-0,000145	0,000376
12	U17	Combination	0,000266	-0,000179	0,000329
12	U18	Combination	-0,0002	0,000322	0,00022
12	U19	Combination	-0,000232	0,000322	0,000176
12	U20	Combination	-0,000217	0,00034	0,000221
12	U21	Combination	-0,000216	0,000305	0,000174
12	U22	Combination	0,000105	2,276E-06	-0,000612
12	U23	Combination	0,000072	2,141E-06	-0,000656
12	U24	Combination	0,000088	0,00002	-0,000612
12	U25	Combination	0,000088	-0,000014	-0,000659
12	U26	Combination	0,000061	9,612E-07	0,000049
12	U27	Combination	-3,586E-06	6,913E-07	-0,000039
12	U28	Combination	0,000027	0,000036	0,000051
12	U29	Combination	0,000028	-0,000033	-0,000043
12	U30	Combination	0,000046	0,00002	0,000233
12	U31	Combination	-0,000019	0,00002	0,000145
12	U32	Combination	0,000012	0,000055	0,000235
12	U33	Combination	0,000013	-0,000013	0,000141
12	U34	Combination	-0,000028	0,000088	0,000081
12	U35	Combination	-0,000093	0,000088	-7,179E-06
12	U36	Combination	-0,000062	0,000123	0,000082
12	U37	Combination	-0,000061	0,000055	-0,000012
12	U38	Combination	0,000118	-0,00005	0,000075

12	U39	Combination	0,000053	-0,00005	-0,000013
12	U40	Combination	0,000084	-0,000015	0,000076
12	U41	Combination	0,000085	-0,000083	-0,000018
12	U42	Combination	-0,000033	0,000102	0,000026
12	U43	Combination	-0,000098	0,000101	-0,000062
12	U44	Combination	-0,000067	0,000137	0,000028
12	U45	Combination	-0,000066	0,000068	-0,000066
12	U46	Combination	0,000063	1,548E-06	-0,000234
12	U47	Combination	-2,362E-06	1,278E-06	-0,000322
12	U48	Combination	0,000029	0,000037	-0,000232
12	U49	Combination	0,00003	-0,000032	-0,000327
12	U50	Combination	0,000035	9,158E-07	-0,000043
12	U51	Combination	-0,00003	6,46E-07	-0,000131
12	U52	Combination	1,207E-06	0,000036	-0,000041
12	U53	Combination	2,257E-06	-0,000033	-0,000135
12	U54	Combination	0,000084	3,786E-07	0,000271
12	U55	Combination	0,000036	0,000063	0,000086
12	U56	Combination	-0,000201	0,000279	0,000372
12	U57	Combination	0,000265	-0,000162	0,000353
12	U58	Combination	-0,000217	0,000322	0,000198
12	U59	Combination	0,000088	2,256E-06	-0,000635
13	U1	Combination	0	0	0
13	U2	Combination	0	0	0
13	U3	Combination	0	0	0
13	U4	Combination	0	0	0
13	U5	Combination	0	0	0
13	U6	Combination	0	0	0
13	U7	Combination	0	0	0
13	U8	Combination	0	0	0
13	U9	Combination	0	0	0
13	U10	Combination	0	0	0
13	U11	Combination	0	0	0
13	U12	Combination	0	0	0
13	U13	Combination	0	0	0
13	U14	Combination	0	0	0
13	U15	Combination	0	0	0
13	U16	Combination	0	0	0
13	U17	Combination	0	0	0
13	U18	Combination	0	0	0
13	U19	Combination	0	0	0
13	U20	Combination	0	0	0
13	U21	Combination	0	0	0
13	U22	Combination	0	0	0
13	U23	Combination	0	0	0
13	U24	Combination	0	0	0
13	U25	Combination	0	0	0
13	U26	Combination	0	0	0

13	U27	Combination	0	0	0
13	U28	Combination	0	0	0
13	U29	Combination	0	0	0
13	U30	Combination	0	0	0
13	U31	Combination	0	0	0
13	U32	Combination	0	0	0
13	U33	Combination	0	0	0
13	U34	Combination	0	0	0
13	U35	Combination	0	0	0
13	U36	Combination	0	0	0
13	U37	Combination	0	0	0
13	U38	Combination	0	0	0
13	U39	Combination	0	0	0
13	U40	Combination	0	0	0
13	U41	Combination	0	0	0
13	U42	Combination	0	0	0
13	U43	Combination	0	0	0
13	U44	Combination	0	0	0
13	U45	Combination	0	0	0
13	U46	Combination	0	0	0
13	U47	Combination	0	0	0
13	U48	Combination	0	0	0
13	U49	Combination	0	0	0
13	U50	Combination	0	0	0
13	U51	Combination	0	0	0
13	U52	Combination	0	0	0
13	U53	Combination	0	0	0
13	U54	Combination	0	0	0
13	U55	Combination	0	0	0
13	U56	Combination	0	0	0
13	U57	Combination	0	0	0
13	U58	Combination	0	0	0
13	U59	Combination	0	0	0
14	U1	Combination	0	0	0
14	U2	Combination	0	0	0
14	U3	Combination	0	0	0
14	U4	Combination	0	0	0
14	U5	Combination	0	0	0
14	U6	Combination	0	0	0
14	U7	Combination	0	0	0
14	U8	Combination	0	0	0
14	U9	Combination	0	0	0
14	U10	Combination	0	0	0
14	U11	Combination	0	0	0
14	U12	Combination	0	0	0
14	U13	Combination	0	0	0
14	U14	Combination	0	0	0

14	U15	Combination	0	0	0
14	U16	Combination	0	0	0
14	U17	Combination	0	0	0
14	U18	Combination	0	0	0
14	U19	Combination	0	0	0
14	U20	Combination	0	0	0
14	U21	Combination	0	0	0
14	U22	Combination	0	0	0
14	U23	Combination	0	0	0
14	U24	Combination	0	0	0
14	U25	Combination	0	0	0
14	U26	Combination	0	0	0
14	U27	Combination	0	0	0
14	U28	Combination	0	0	0
14	U29	Combination	0	0	0
14	U30	Combination	0	0	0
14	U31	Combination	0	0	0
14	U32	Combination	0	0	0
14	U33	Combination	0	0	0
14	U34	Combination	0	0	0
14	U35	Combination	0	0	0
14	U36	Combination	0	0	0
14	U37	Combination	0	0	0
14	U38	Combination	0	0	0
14	U39	Combination	0	0	0
14	U40	Combination	0	0	0
14	U41	Combination	0	0	0
14	U42	Combination	0	0	0
14	U43	Combination	0	0	0
14	U44	Combination	0	0	0
14	U45	Combination	0	0	0
14	U46	Combination	0	0	0
14	U47	Combination	0	0	0
14	U48	Combination	0	0	0
14	U49	Combination	0	0	0
14	U50	Combination	0	0	0
14	U51	Combination	0	0	0
14	U52	Combination	0	0	0
14	U53	Combination	0	0	0
14	U54	Combination	0	0	0
14	U55	Combination	0	0	0
14	U56	Combination	0	0	0
14	U57	Combination	0	0	0
14	U58	Combination	0	0	0
14	U59	Combination	0	0	0
15	U1	Combination	7,779E-07	4,762E-07	-0,000126
15	U2	Combination	0,000099	-2,755E-06	-0,000703

15	U3	Combination	0,000066	-0,00000231	-0,000659
15	U4	Combination	0,000082	0,000014	-0,000656
15	U5	Combination	0,000083	-0,000018	-0,000704
15	U6	Combination	0,000048	0,000059	0,000723
15	U7	Combination	0,000015	0,000006	0,000767
15	U8	Combination	0,000031	0,000076	0,00077
15	U9	Combination	0,000032	0,000043	0,000722
15	U10	Combination	-0,000188	-0,000164	0,000205
15	U11	Combination	-0,00022	-0,000164	0,000249
15	U12	Combination	-0,000204	-0,000148	0,000251
15	U13	Combination	-0,000203	-0,00018	0,000204
15	U14	Combination	0,000278	0,000277	0,000225
15	U15	Combination	0,000246	0,000278	0,000269
15	U16	Combination	0,000262	0,000294	0,000272
15	U17	Combination	0,000263	0,000261	0,000224
15	U18	Combination	-0,000203	-0,000095	0,000095
15	U19	Combination	-0,000236	-0,000095	0,000139
15	U20	Combination	-0,00022	-0,000079	0,000141
15	U21	Combination	-0,000219	-0,000111	0,000094
15	U22	Combination	0,000104	-1,857E-06	-0,000521
15	U23	Combination	0,000072	-1,413E-06	-0,000477
15	U24	Combination	0,000088	0,000015	-0,000474
15	U25	Combination	0,000089	-0,000018	-0,000522
15	U26	Combination	0,000058	-9,13E-07	-0,000332
15	U27	Combination	-6,508E-06	-2,43E-08	-0,000244
15	U28	Combination	0,000025	0,000033	-0,00024
15	U29	Combination	0,000028	-0,000032	-0,000334
15	U30	Combination	0,000042	0,000018	0,000113
15	U31	Combination	-0,000022	0,000019	0,000201
15	U32	Combination	9,319E-06	0,000052	0,000206
15	U33	Combination	0,000012	-0,000013	0,000111
15	U34	Combination	-0,000031	-0,000051	-0,000049
15	U35	Combination	-0,000096	-0,000051	0,000039
15	U36	Combination	-0,000064	-0,000018	0,000044
15	U37	Combination	-0,000062	-0,000083	-0,000051
15	U38	Combination	0,000115	0,000087	-0,000042
15	U39	Combination	0,00005	0,000087	0,000046
15	U40	Combination	0,000081	0,00012	0,00005
15	U41	Combination	0,000084	0,000055	-0,000044
15	U42	Combination	-0,000036	-0,00003	-0,000083
15	U43	Combination	-0,000101	-0,000029	4,735E-06
15	U44	Combination	-0,000069	3,604E-06	9,586E-06
15	U45	Combination	-0,000067	-0,000061	-0,000085
15	U46	Combination	0,00006	-6,325E-07	-0,000276
15	U47	Combination	-4,826E-06	2,562E-07	-0,000188
15	U48	Combination	0,000027	0,000033	-0,000183
15	U49	Combination	0,000029	-0,000032	-0,000277

15	U50	Combination	0,000033	-8,821E-08	-0,000127
15	U51	Combination	-0,000032	8,005E-07	-0,000039
15	U52	Combination	-5,311E-07	0,000033	-0,000034
15	U53	Combination	1,715E-06	-0,000032	-0,000129
15	U54	Combination	0,000083	-2,558E-06	-0,00068
15	U55	Combination	0,000032	0,000059	0,000746
15	U56	Combination	-0,000204	-0,000164	0,000227
15	U57	Combination	0,000262	0,000277	0,000248
15	U58	Combination	-0,000219	-0,000095	0,000118
15	U59	Combination	0,000088	-0,00000166	-0,000498
16	U1	Combination	0,000087	-0,000086	-0,000147
16	U2	Combination	0,000649	-0,000518	-0,000851
16	U3	Combination	0,000579	-0,000485	-0,000797
16	U4	Combination	0,000596	-0,000464	-0,000794
16	U5	Combination	0,000632	-0,000537	-0,000852
16	U6	Combination	-0,000486	0,000652	0,000888
16	U7	Combination	-0,000556	0,000685	0,000942
16	U8	Combination	-0,000539	0,000706	0,000945
16	U9	Combination	-0,000503	0,000634	0,000886
16	U10	Combination	-0,00035	6,817E-06	0,000256
16	U11	Combination	-0,00042	0,00004	0,00031
16	U12	Combination	-0,000403	0,000061	0,000313
16	U13	Combination	-0,000367	-0,000012	0,000255
16	U14	Combination	0,000132	0,000495	0,000281
16	U15	Combination	0,000063	0,000528	0,000335
16	U16	Combination	0,000079	0,000548	0,000338
16	U17	Combination	0,000116	0,000476	0,000279
16	U18	Combination	-0,000284	-1,523E-06	0,000124
16	U19	Combination	-0,000353	0,000032	0,000178
16	U20	Combination	-0,000337	0,000052	0,000181
16	U21	Combination	-0,000301	-0,00002	0,000122
16	U22	Combination	0,000502	-0,000379	-0,000631
16	U23	Combination	0,000432	-0,000346	-0,000576
16	U24	Combination	0,000449	-0,000325	-0,000573
16	U25	Combination	0,000485	-0,000397	-0,000632
16	U26	Combination	0,000313	-0,000241	-0,0004
16	U27	Combination	0,000174	-0,000175	-0,000291
16	U28	Combination	0,000207	-0,000134	-0,000285
16	U29	Combination	0,000279	-0,000278	-0,000402
16	U30	Combination	-0,000042	0,000124	0,000143
16	U31	Combination	-0,000181	0,000191	0,000252
16	U32	Combination	-0,000148	0,000232	0,000258
16	U33	Combination	-0,000075	0,000087	0,000141
16	U34	Combination	6,34E-07	-0,000077	-0,000054
16	U35	Combination	-0,000139	-0,000011	0,000055
16	U36	Combination	-0,000105	0,00003	0,000061
16	U37	Combination	-0,000033	-0,000114	-0,000056

16	U38	Combination	0,000151	0,000075	-0,000046
16	U39	Combination	0,000012	0,000142	0,000062
16	U40	Combination	0,000045	0,000183	0,000068
16	U41	Combination	0,000118	0,000038	-0,000049
16	U42	Combination	0,000021	-0,000008	-0,000095
16	U43	Combination	-0,000118	-0,000013	0,000013
16	U44	Combination	-0,000085	0,000028	0,000019
16	U45	Combination	-0,000012	-0,000117	-0,000098
16	U46	Combination	0,000267	-0,000198	-0,000331
16	U47	Combination	0,000128	-0,000131	-0,000222
16	U48	Combination	0,000161	-0,000009	-0,000216
16	U49	Combination	0,000233	-0,000235	-0,000333
16	U50	Combination	0,000126	-0,000089	-0,000151
16	U51	Combination	-0,000014	-0,000023	-0,000042
16	U52	Combination	0,000002	0,000018	-0,000036
16	U53	Combination	0,000092	-0,000126	-0,000153
16	U54	Combination	0,000614	-0,000501	-0,000823
16	U55	Combination	-0,000521	0,000669	0,000916
16	U56	Combination	-0,000385	0,000024	0,000284
16	U57	Combination	0,000097	0,000512	0,000309
16	U58	Combination	-0,000319	0,000016	0,000152
16	U59	Combination	0,000467	-0,000362	-0,000603
17	U1	Combination	0,000087	-0,000083	-0,000006
17	U2	Combination	0,000648	-0,000581	-0,000268
17	U3	Combination	0,000579	-0,000612	-0,000248
17	U4	Combination	0,000595	-0,000331	-0,000265
17	U5	Combination	0,000631	-0,000467	-0,000028
17	U6	Combination	-0,000485	0,000552	0,000307
17	U7	Combination	-0,000554	0,000522	0,000327
17	U8	Combination	-0,000538	0,000803	0,000031
17	U9	Combination	-0,000502	0,000667	0,000295
17	U10	Combination	-0,000035	-3,892E-06	0,000077
17	U11	Combination	-0,000419	-0,000034	0,000097
17	U12	Combination	-0,000402	0,000247	0,000008
17	U13	Combination	-0,000366	0,000111	0,000065
17	U14	Combination	0,000133	0,000353	0,000116
17	U15	Combination	0,000063	0,000322	0,000136
17	U16	Combination	0,000008	0,000603	0,000119
17	U17	Combination	0,000116	0,000467	0,000104
17	U18	Combination	-0,000283	1,798E-06	0,000003
17	U19	Combination	-0,000353	-0,000029	0,000005
17	U20	Combination	-0,000336	0,000252	0,000032
17	U21	Combination	-0,00003	0,000117	0,000018
17	U22	Combination	0,000501	-0,000042	-0,000208
17	U23	Combination	0,000431	-0,000045	-0,000188
17	U24	Combination	0,000448	-0,000169	-0,000205
17	U25	Combination	0,000484	-0,000305	-0,000022

17	U26	Combination	0,000313	-0,000372	-0,000124
17	U27	Combination	0,000173	-0,000433	-0,000084
17	U28	Combination	0,000207	0,000129	-0,000118
17	U29	Combination	0,000279	-0,000142	-0,000148
17	U30	Combination	-0,000042	-0,000017	0,000056
17	U31	Combination	-0,000181	-0,000079	0,000096
17	U32	Combination	-0,000147	0,000483	0,000061
17	U33	Combination	-0,000075	0,000212	0,000032
17	U34	Combination	6,958E-07	-0,000191	-0,000016
17	U35	Combination	-0,000138	-0,000252	0,000024
17	U36	Combination	-0,000105	0,00031	-0,000011
17	U37	Combination	-0,000033	0,000038	-0,00004
17	U38	Combination	0,000151	-0,00008	-3,965E-06
17	U39	Combination	0,000012	-0,000141	0,000036
17	U40	Combination	0,000046	0,000421	1,512E-06
17	U41	Combination	0,000118	0,00015	-0,000028
17	U42	Combination	0,000021	-0,000189	-0,000031
17	U43	Combination	-0,000118	-0,000251	9,411E-06
17	U44	Combination	-0,000084	0,000311	-0,000025
17	U45	Combination	-0,000012	0,00004	-0,000055
17	U46	Combination	0,000266	-0,000321	-0,000105
17	U47	Combination	0,000127	-0,000382	-0,000065
17	U48	Combination	0,000161	0,00018	-0,0001
17	U49	Combination	0,000233	-0,000092	-0,000129
17	U50	Combination	0,000125	-0,000221	-0,000044
17	U51	Combination	-0,000014	-0,000282	-3,994E-06
17	U52	Combination	0,00002	0,00028	-0,000039
17	U53	Combination	0,000092	8,952E-06	-0,000068
17	U54	Combination	0,000613	-0,000498	-0,000265
17	U55	Combination	-0,00052	0,000636	0,00031
17	U56	Combination	-0,000384	0,00008	0,00008
17	U57	Combination	0,000098	0,000436	0,000119
17	U58	Combination	-0,000318	0,000085	0,000033
17	U59	Combination	0,000466	-0,000336	-0,000205
18	U1	Combination	-0,000092	-0,000095	-0,000065
18	U2	Combination	0,000355	0,000097	0,000105
18	U3	Combination	0,000286	0,000128	0,000085
18	U4	Combination	0,000336	0,000379	0,000087
18	U5	Combination	0,000302	0,000241	0,000072
18	U6	Combination	0,000724	0,000617	0,000371
18	U7	Combination	0,000655	0,000648	0,000351
18	U8	Combination	0,000705	0,000898	0,000353
18	U9	Combination	0,000671	0,000761	0,000338
18	U10	Combination	0,000105	0,000413	0,000181
18	U11	Combination	0,000036	0,000444	0,000161
18	U12	Combination	0,000086	0,000694	0,000164
18	U13	Combination	0,000052	0,000557	0,000148

18	U14	Combination	0,000589	0,00006	0,000143
18	U15	Combination	0,00052	0,00009	0,000123
18	U16	Combination	0,00057	0,000341	0,000125
18	U17	Combination	0,000536	0,000203	0,00011
18	U18	Combination	-0,000049	0,000336	0,000113
18	U19	Combination	-0,000118	0,000367	0,000093
18	U20	Combination	-0,000067	0,000617	0,000095
18	U21	Combination	-0,000102	0,00048	0,00008
18	U22	Combination	-0,00034	-0,000606	-0,000256
18	U23	Combination	-0,000409	-0,000576	-0,000277
18	U24	Combination	-0,000359	-0,000325	-0,000274
18	U25	Combination	-0,000393	-0,000463	-0,000289
18	U26	Combination	0,000118	-0,000216	0,000025
18	U27	Combination	-0,000021	-0,000155	-0,000016
18	U28	Combination	0,00008	0,000346	-0,000011
18	U29	Combination	0,000011	0,000071	-0,000041
18	U30	Combination	0,000233	-0,000054	0,000108
18	U31	Combination	0,000094	7,257E-06	0,000067
18	U32	Combination	0,000195	0,000508	0,000072
18	U33	Combination	0,000127	0,000233	0,000042
18	U34	Combination	0,00004	-0,000118	0,000049
18	U35	Combination	-0,000099	-0,000056	0,00000789
18	U36	Combination	2,086E-06	0,000445	0,000013
18	U37	Combination	-0,000067	0,00017	-0,000017
18	U38	Combination	0,000191	-0,000228	0,000037
18	U39	Combination	0,000052	-0,000167	-4,127E-06
18	U40	Combination	0,000153	0,000334	8,186E-07
18	U41	Combination	0,000085	0,000059	-0,000029
18	U42	Combination	-8,352E-06	-0,000142	0,000027
18	U43	Combination	-0,000147	-0,000081	-0,000013
18	U44	Combination	-0,000046	0,000421	-8,529E-06
18	U45	Combination	-0,000115	0,000145	-0,000039
18	U46	Combination	-0,000099	-0,000436	-0,000088
18	U47	Combination	-0,000238	-0,000375	-0,000129
18	U48	Combination	-0,000137	0,000126	-0,000124
18	U49	Combination	-0,000206	-0,000149	-0,000154
18	U50	Combination	0,000013	-0,000287	-5,917E-06
18	U51	Combination	-0,000125	-0,000226	-0,000047
18	U52	Combination	-0,000024	0,000275	-0,000042
18	U53	Combination	-0,000093	-8,499E-08	-0,000072
18	U54	Combination	0,000319	0,000211	0,000087
18	U55	Combination	0,000688	0,00073	0,000353
18	U56	Combination	0,000069	0,000527	0,000164
18	U57	Combination	0,000553	0,000173	0,000125
18	U58	Combination	-0,000085	0,000449	0,000095
18	U59	Combination	-0,000376	-0,000493	-0,000274
19	U1	Combination	-0,000092	-0,000093	-0,00016

19	U2	Combination	0,000355	0,00022	0,000366
19	U3	Combination	0,000286	0,000187	0,000311
19	U4	Combination	0,000337	0,000241	0,000367
19	U5	Combination	0,000302	0,000167	0,000308
19	U6	Combination	0,000729	0,000774	0,001081
19	U7	Combination	0,00066	0,000741	0,001026
19	U8	Combination	0,00071	0,000795	0,001082
19	U9	Combination	0,000676	0,000721	0,001023
19	U10	Combination	0,000107	0,00062	0,000487
19	U11	Combination	0,000038	0,000587	0,000433
19	U12	Combination	0,000089	0,000641	0,000488
19	U13	Combination	0,000054	0,000567	0,00043
19	U14	Combination	0,000591	0,000136	0,000464
19	U15	Combination	0,000522	0,000103	0,00041
19	U16	Combination	0,000572	0,000157	0,000465
19	U17	Combination	0,000538	0,000082	0,000407
19	U18	Combination	-0,000047	0,00053	0,000277
19	U19	Combination	-0,000117	0,000497	0,000222
19	U20	Combination	-0,000066	0,000551	0,000278
19	U21	Combination	-0,000101	0,000477	0,00022
19	U22	Combination	-0,000343	-0,000455	-0,000737
19	U23	Combination	-0,000413	-0,000488	-0,000792
19	U24	Combination	-0,000362	-0,000434	-0,000736
19	U25	Combination	-0,000396	-0,000509	-0,000795
19	U26	Combination	0,000118	0,000042	0,000067
19	U27	Combination	-0,000021	-0,000023	-0,000041
19	U28	Combination	0,00008	0,000084	0,000069
19	U29	Combination	0,000011	-0,000064	-0,000047
19	U30	Combination	0,000234	0,000216	0,000291
19	U31	Combination	0,000095	0,00015	0,000182
19	U32	Combination	0,000197	0,000257	0,000293
19	U33	Combination	0,000128	0,000109	0,000176
19	U34	Combination	0,00004	0,000167	0,000105
19	U35	Combination	-0,000099	0,000102	-3,348E-06
19	U36	Combination	2,683E-06	0,000209	0,000107
19	U37	Combination	-0,000067	0,000061	-9,094E-06
19	U38	Combination	0,000191	0,000016	0,000098
19	U39	Combination	0,000052	-0,000049	-0,000011
19	U40	Combination	0,000154	0,000058	0,0001
19	U41	Combination	0,000085	-0,00009	-0,000016
19	U42	Combination	-0,00000813	0,000139	0,00004
19	U43	Combination	-0,000147	0,000074	-0,000069
19	U44	Combination	-0,000046	0,000181	0,000042
19	U45	Combination	-0,000115	0,000033	-0,000075
19	U46	Combination	-0,000101	-0,000169	-0,000277
19	U47	Combination	-0,00024	-0,000234	-0,000386
19	U48	Combination	-0,000138	-0,000127	-0,000275

19	U49	Combination	-0,000207	-0,000275	-0,000392
19	U50	Combination	0,000013	-0,000026	-0,000047
19	U51	Combination	-0,000126	-0,000091	-0,000155
19	U52	Combination	-0,000024	0,000016	-0,000045
19	U53	Combination	-0,000094	-0,000132	-0,000161
19	U54	Combination	0,000319	0,000203	0,000338
19	U55	Combination	0,000693	0,000757	0,001053
19	U56	Combination	0,000071	0,000603	0,000459
19	U57	Combination	0,000555	0,000119	0,000436
19	U58	Combination	-0,000083	0,000513	0,000249
19	U59	Combination	-0,000379	-0,000472	-0,000766
20	U1	Combination	0,000055	-0,000066	-0,000218
20	U2	Combination	0,001953	-0,000417	-0,001208
20	U3	Combination	0,001749	-0,000387	-0,001135
20	U4	Combination	0,001832	-0,000293	-0,001131
20	U5	Combination	0,001866	-0,000509	-0,001209
20	U6	Combination	-0,000096	0,003179	0,00123
20	U7	Combination	-0,0003	0,00321	0,001302
20	U8	Combination	-0,000217	0,003303	0,001306
20	U9	Combination	-0,000184	0,003088	0,001228
20	U10	Combination	-0,000217	0,001171	0,000329
20	U11	Combination	-0,000421	0,001201	0,000401
20	U12	Combination	-0,000338	0,001295	0,000405
20	U13	Combination	-0,000305	0,00108	0,000327
20	U14	Combination	0,000614	0,001961	0,000374
20	U15	Combination	0,00041	0,001991	0,000446
20	U16	Combination	0,000493	0,002085	0,000451
20	U17	Combination	0,000526	0,001869	0,000372
20	U18	Combination	-0,000299	0,00101	0,00011
20	U19	Combination	-0,000503	0,00104	0,000183
20	U20	Combination	-0,000419	0,001134	0,000187
20	U21	Combination	-0,000386	0,000918	0,000109
20	U22	Combination	0,000423	-0,000308	-0,000968
20	U23	Combination	0,000219	-0,000277	-0,000896
20	U24	Combination	0,000302	-0,000184	-0,000892
20	U25	Combination	0,000335	-0,000399	-0,00097
20	U26	Combination	0,000818	-0,000195	-0,000569
20	U27	Combination	0,00041	-0,000135	-0,000424
20	U28	Combination	0,000576	0,000053	-0,000416
20	U29	Combination	0,000643	-0,000378	-0,000572
20	U30	Combination	0,000177	0,000928	0,000193
20	U31	Combination	-0,00023	0,000989	0,000337
20	U32	Combination	-0,000064	0,001177	0,000346
20	U33	Combination	2,667E-06	0,000745	0,000189
20	U34	Combination	0,00014	0,000301	-0,000089
20	U35	Combination	-0,000268	0,000362	0,000056
20	U36	Combination	-0,000102	0,000549	0,000064

20	U37	Combination	-0,000035	0,000118	-0,000092
20	U38	Combination	0,000399	0,000548	-0,000075
20	U39	Combination	-8,628E-06	0,000608	0,00007
20	U40	Combination	0,000157	0,000796	0,000078
20	U41	Combination	0,000225	0,000365	-0,000078
20	U42	Combination	0,000114	0,000251	-0,000157
20	U43	Combination	-0,000294	0,000311	-0,000012
20	U44	Combination	-0,000128	0,000499	-4,102E-06
20	U45	Combination	-0,000061	0,000068	-0,000161
20	U46	Combination	0,00034	-0,000161	-0,000494
20	U47	Combination	-0,000068	-0,0001	-0,000349
20	U48	Combination	0,000098	0,000087	-0,000341
20	U49	Combination	0,000165	-0,000344	-0,000498
20	U50	Combination	0,000243	-0,000073	-0,000215
20	U51	Combination	-0,000165	-0,000013	-0,00007
20	U52	Combination	1,067E-06	0,000175	-0,000062
20	U53	Combination	0,000068	-0,000256	-0,000218
20	U54	Combination	0,001849	-0,000402	-0,00117
20	U55	Combination	-0,0002	0,003195	0,001267
20	U56	Combination	-0,000321	0,001186	0,000366
20	U57	Combination	0,00051	0,001976	0,000411
20	U58	Combination	-0,000402	0,001025	0,000148
20	U59	Combination	0,000319	-0,000292	-0,000931