

UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO INGENIERÍA MECÁNICA

Docentes Patrocinantes:
Cristian Canales Cárdenas
Emilio Dufeu Delarze

Ingeniero supervisor:
José Vial Wunkhaus

**Análisis numérico de distorsiones en reflector primario de radiotelescopio Caltech
Submillimeter Observatory**

Julio Esteban Navarro Norambuena

Informe de Memoria de Título
para optar al Título de

Ingeniero Civil Mecánico

Mayo 2020

RESUMEN

Los cielos de Chile son considerados los mejores para realizar astronomía milimétrica y submilimétrica en el mundo, es por eso que un gran número de observatorios se han construido en la zona norte predominantemente en las regiones de Antofagasta y Coquimbo. Entre estos observatorios se pueden destacar algunos como: ALMA, La Silla, Tololo, Las Campanas o Paranal, los cuales cuentan con telescopios de alta tecnología que ayudan a entregar información relevante e imprescindible para conocer el comportamiento del universo. Con el fin de avanzar aún más en potenciar la astronomía en Chile, es que se emplaza el ambicioso proyecto “Leighton Chajnantor Telescope”, proyecto que pretende traer un radiotelescopio desde Mauna Kea en Hawaii al llano de Chajnantor en la región de Antofagasta que está siendo liderado por la Universidad de Concepción, el Instituto Tecnológico de California (Caltech) y la Academia China de las Ciencias.

La observación astronómica necesita de una alta precisión de los equipos de observación y los elementos que lo componen, ya que al medir a distancias tan grandes cualquier perturbación podría conllevar a que los datos no sean del todo confiables o de buena calidad. Uno de los elementos más críticos a nivel de precisión dentro del telescopio es el reflector primario, el cual es el encargado de reflejar en una primera instancia las señales que provienen desde el espacio, por tanto, la superficie de éste tiene que tener las menores imperfecciones posibles y a la vez estar mínimamente deformado respecto a su posición inicial. Debido a las condiciones externas del ambiente tales como viento, temperatura, nieve y gravedad, inherentemente los paneles que componen el reflector se verán desplazados de su posición original. El objetivo de la siguiente investigación es determinar la magnitud de estos desplazamientos y conocer qué tan alejado queda la deformada del reflector respecto a lo que se denomina un paraboloide perfecto.

Para el objetivo planteado se hace necesario determinar los desplazamientos, estos se determinan mediante el método de elementos finitos, utilizando el software ANSYS 19.2, el cual posee diferentes módulos de análisis tanto estructurales como fluidodinámicos. Posteriormente los datos son exportados a un código desarrollado en lenguaje Matlab en donde se determina la ecuación del paraboloide que mejor se ajuste a la deformada del reflector.

Los resultados obtenidos en esta investigación son satisfactorios en comparación a lo expuesto en el diseño del radiotelescopio. Las variaciones de la distancia focal no alcanzan el 1% coincidiendo con lo que se plantea en [16]. Además, el valor RMS de la distorsión del mapa encontrado en el presente trabajo y lo planteado en [5] difieren en casi un 8%. Se estima que los resultados podrían mejorar o ser más representativos mediante cambios estructurales del modelo geométrico y además teniendo consideraciones en los análisis CFD.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1: Marco general.....	8
1.1 Introducción	8
1.2 Objetivos	9
1.3 Metodología	9
CAPÍTULO 2: Área de investigación	10
2.1 Radiotelescopio y radioastronomía.....	10
2.2 Radiotelescopio CSO.....	11
CAPÍTULO 3: Ajuste de un paraboloide analítico (BFP)	15
CAPÍTULO 4: Modelo numérico	21
4.1 Gravedad	21
4.1.1 Modelo geométrico	21
4.1.2 Material	22
4.1.3 Condiciones de borde.....	23
4.1.4 Discretización.....	25
4.2 Nieve	26
4.2.1 Modelo geométrico	26
4.2.2 Material	28
4.2.3 Condiciones de borde.....	28
4.2.4 Discretización.....	31
4.3 Viento.....	31
4.3.2 Material	37
4.3.3 Discretización.....	39
4.3.4 Condiciones de borde.....	43
CAPÍTULO 5: Resultados	47
CAPÍTULO 6: Conclusiones y perspectivas	59
6.1 Conclusiones	59
6.2 Perspectivas.....	59

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Conjunto de radiotelescopios Atacama large milimetric array ALMA.....	11
Figura 2. Conjunto de radio-telescopios ubicados en OVRO.....	12
Figura 3. Radiotelescopio CSO ubicado en Mauna Kea, Hawaii.....	12
Figura 4: Reflector primario y back-up structure (BUS) [5].	13
Figura 5: Configuración de antena tipo Cassegrain [6].	13
Figura 6: Sistema de corrección de distorsiones DSOS.....	14
Figura 7: Ángulos característicos para observación.	14
Figura 8: Ilustración de superficie distorsionada y BFP [7].	15
Figura 9: Rutina de cálculo del paraboloides analítico.....	19
Figura 10: Plano óptico del radiotelescopio CSO.....	20
Figura 11: Modelo geométrico para análisis de gravedad.	21
Figura 12: Barras soporte del reflector primario (Stand-off's).....	22
Figura 13: Ubicación de la carga del reflector secundario.....	22
Figura 14: Diagrama simplificado del sistema reflector-feedlegs y eje de simetría.....	23
Figura 15: Modelo rotado en un ángulo de elevación α	23
Figura 16: Condición de carga sobre el modelo.	24
Figura 17: Ubicación de las barras de fijación.....	25
Figura 18: Barras de fijación.....	25
Figura 19: Discretización modelo gravedad.	26
Figura 20: Modelo geométrico para análisis de nieve	26
Figura 21: Diagrama de la metodología para determinar el área de acción de la nieve.	27
Figura 22: Vista lateral del diagrama anterior.	27
Figura 23: Condición de carga de nieve para un ángulo de elevación de 90°	29
Figura 24: Condición de carga de nieve para un ángulo de elevación de 75°	29
Figura 25: Condición de carga de nieve para un ángulo de elevación de 60°	29
Figura 26: Condición de carga de nieve para un ángulo de elevación de 45°	30
Figura 27: Condición de carga de nieve para un ángulo de elevación de 30°	30
Figura 28: Condición de carga de nieve para un ángulo de elevación de 15°	30
Figura 29: Discretización para condición de nieve.....	31
Figura 30: Módulo de la velocidad máxima por día para cada mes a lo largo del año 2018.....	32
Figura 31: Módulo de la velocidad máxima por día para cada mes a lo largo del año 2019 hasta el mes de Octubre.....	32
Figura 32: Modulo de la velocidad del viento máxima promedio por día para cada mes durante el año 2018.....	33
Figura 33: Modulo de la velocidad del viento máxima promedio por día para cada mes durante el año 2019 hasta Octubre.....	34
Figura 34: Reflector primario sólido.....	35
Figura 35: Referencia de volumen de control para el análisis de viento de un telescopio [11].....	35
Figura 36: Vista en planta del volumen de control.	36
Figura 37: Vista frontal abajo del volumen de control.	36
Figura 38: Volumen de control en la interfaz ANSYS.	36
Figura 39: Evolución de la presión atmosférica en el llano de Chajnantor.	37
Figura 40: Evolución de la densidad del aire en el llano de Chajnantor.....	38
Figura 41: Evolución de la viscosidad dinámica del aire en el llano de Chajnantor.	39

Figura 42: Discretización en la zona cercana al reflector.	39
Figura 43: Acercamiento de la discretización en la zona de interés.	40
Figura 44: Refinamiento sobre el reflector.	40
Figura 45: Acercamiento a la zona de interés cerca del piso.	41
Figura 46: Refinamiento de la zona del piso.	41
Figura 47: Valor de oblicuidad sobre todo el volumen en corte.	42
Figura 48: Escala de valores de oblicuidad [13].	42
Figura 49: Superficies características para las condiciones de contorno.	43
Figura 50: Rotación del volumen de control.	43
Figura 51: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 0°	44
Figura 52: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 15°	44
Figura 53: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 30°	44
Figura 54: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 45°	45
Figura 55: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 60°	45
Figura 56: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 75°	45
Figura 57: Campo de presiones y velocidades para un ángulo de elevación de 90°	45
Figura 58: Discretización del reflector primario.	46
Figura 59: Condición de carga para el análisis estructural por efecto del viento.	46
Figura 60: Mapas de distorsión efectiva por efecto de gravedad para un ángulo de elevación desde 0° hasta 65°	48
Figura 61: Mapas de distorsión efectiva por efecto de gravedad para un ángulo de elevación 75° y 90°	49
Figura 62: Comparación de los mapas de distorsión cuando se observa desde cenit hacia horizonte.	49
Figura 63: Mapa de distorsión absoluta cuando se observa desde cenit a horizonte para condición de gravedad.	50
Figura 64: Variación de la distorsión RMS para diferentes ángulos de elevación por efecto de gravedad	50
Figura 65: Variación de la eficiencia para diferentes ángulos de elevación.	51
Figura 66: Variación porcentual de la distancia focal calculada respecto a la teórica.	51
Figura 67: Mapas de distorsión efectiva para diferentes ángulos de elevación por efecto de la nieve.	52
Figura 68: Mapa de distorsión absoluta cuando se observa desde cenit a 15° para condición de nieve.	53
Figura 69: Variación de la distorsión efectiva RMS para diferentes ángulos de elevación debido a la carga de la nieve.	53
Figura 70: Variación de la eficiencia para diferentes ángulos de elevación por efecto de la carga de la nieve.	54
Figura 71: Variación porcentual de la distancia focal calculada y la teórica por efecto de la carga de la nieve.	54
Figura 72: Mapas de distorsión efectiva por efecto de viento para un ángulo de elevación desde 0° hasta 75° ..	55
Figura 73: Mapa de distorsión efectiva por efecto del viento para un ángulo de elevación de 90°	56
Figura 74: Mapa de distorsión absoluta cuando se observa desde cenit a horizonte por efecto de la carga del viento.	56
Figura 75: Variación de la distorsión RMS para diferentes ángulos de elevación por efecto de la carga del viento.	57
Figura 76: Variación porcentual de la distancia focal calculada y la teórica por efecto de la carga del viento.	57
Figura 77: Variación porcentual de la distancia focal calculada y la teórica por efecto de la carga del viento.	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Propiedades mecánicas del material utilizado en el entramado de viga	22
Tabla 2: Propiedades mecánicas del Aluminio A-356 [4].	28
Tabla 3: Módulo de la aceleración de gravedad para los diferentes ángulos de elevación.....	62
Tabla 4: Módulo de las fuerzas aplicadas para el análisis de nieve y área aplicada.	62