

# Treball final de màster

**Estudi:** Màster en Enginyeria Industrial

**Títol:** Disseny i anàlisi d'una coberta protectora per al telescopi de neutrins Hyper-Kamiokande

**Document:** Resum

**Alumne:** Martí Descamps Arbat

**Tutor:** Pere Maimí Vert/ Oriol Vallmajó Martín

**Departament:** Enginyeria mecànica i de la construcció

**Àrea:** Enginyeria Mecànica

**Convocatòria (mes/any):** Setembre /2023



# Resum

El projecte Hyper-Kamiokande consisteix en la construcció d'un telescopi de neutrins amb forma de cilindre de 68 metres de diàmetre i 71 metres de profunditat. Aquest tanc es troba ple d'aigua ultrapurificada i a dins seu hi ha aproximadament 22.000 fotosensors ultrasensibles (PMT, provinent de l'anglicisme PhotoMULTIplier Tube) que s'encarreguen de captar la llum Cherenkov generada per les interaccions de neutrins i la desintegració de protons. A través d'aquesta important infraestructura científica, Hyper-Kamiokande aclarirà les propietats dels neutrins, com ara la violació CP dels neutrins (o simetria de paritat de càrrega), i abordarà els misteris que envolten l'evolució de l'univers i el naixement de la vida, mitjançant l'observació dels neutrins solars i els neutrins de supernova.

El Ministeri de Ciència i Innovació del Govern d'Espanya, l'Organització de Recerca d'Acceleradors d'Alta Energia (KEK) del Japó i la Universitat de Tòquio (UTokyo) han subscrit un memoràndum d'enteniment (MoU), que té com a objectiu promoure el projecte científic internacional Hyper-Kamiokande (HKK) per a la construcció d'un telescopi internacional de neutrins. Segons el MoU, el Consorci Hyper-Kamiokande espanyol està format per nou institucions. Una d'aquestes institucions és el grup de recerca AMADE de la Universitat de Girona (UdG), la qual s'encarrega de dur a terme el disseny de la coberta.

Els PMTs tenen una forma similar a una bombeta de mig metre de diàmetre i es troben al buit amb tota l'electrònica requerida al seu interior. Aquests PMTs podrien implosionar i provocar una reacció d'implosions en cadena de la resta de PMTs veïns. Per evitar-ho, es vol encapsular aquests PMTs amb una coberta protectora i una cúpula d'acrílic. Així doncs, aquest projecte consisteix a dissenyar i analitzar una coberta protectora pels PMTs instal·lats al telescopi de neutrins Hyper-Kamiokande i de tots els elements necessaris per assemblar els fotomultiplicadors ultrasensibles al seu interior (veure la figura 1).

Per encapsular el PMT la col·laboració Hyper-Kamiokande havia dissenyat dues bandes circulars de silicó que estan en contacte amb el PMT i dues bandes circulars metàl·liques que fixen la posició de les de silicó i alhora serveixen per subjectar el PMT mitjançant unes bandes metàl·liques, dissenyades en aquest projecte, dins la cúpula d'acrílic i la coberta.

Sota les condicions que haurà de treballar la coberta el vinclament és un dels modes de falla més comuns. La millor geometria per evitar el vinclament és l'esfèrica. Per aquest motiu, es va decidir fabricar la coberta per embotició profunda, ja que permet realitzar dissenys amb doble curvatura i geometries similars a l'esfèrica. Per fabricar la coberta es parteix d'una xapa de 3mm de gruix d'acer SUS304. A la part superior de la coberta hi ha un anell circular pla amb 24 forats per assemblar-la amb l'acrílic. A la part inferior de la coberta hi ha una altra part plana amb un forat per on poder passar el cable i el bulb del PMT.

La cúpula d'acrílic es va fabricar amb PARAGLAS<sup>TM</sup> acrílic. Es tracta d'un polimetacrilat d'alta transparència i amb una bona resistència mecànica. Es fabrica injectant un monòmer líquid entre dues plaques de vidre paral·leles. La forma de la cúpula es fabrica per emmotllament per bufament. S'escalfa la placa base i posteriorment es bufa fins que agafa la forma semiesfèrica. Es parteix d'una placa base de 13mm i després de tot el procés el seu gruix es pot veure reduït en diversos punts. La cúpula consta d'una part plana amb 24 forats que s'han de mecanitzar per assemblar-la amb la coberta i d'un forat al mig per tal poder evacuar l'aire en aquells PMTs que es muntin verticalment.

Com s'ha comentat anteriorment, es va dissenyar una banda metàl·lica, Banda Nadal, de 3mm de gruix que es fabrica per plegat. Aquesta té la funció d'assemblar el PMT dins l'estructura, impedir que aquest es mogui a causa de l'efecte de la flotabilitat i unir tot el conjunt a la part posterior de l'estructura del detector.

Per últim, es va dissenyar una guia per evitar les implosions asimètriques. El seu objectiu és guiar el bulb del PMT i evitar que impacti amb la coberta quan es produeix una implosió, ja que quan succeeix aquest fet el conjunt agafa una acceleració cap endavant que l'acrílic no és capaç de resistir, es trenca i provoca una reacció en cadena d'implosions.

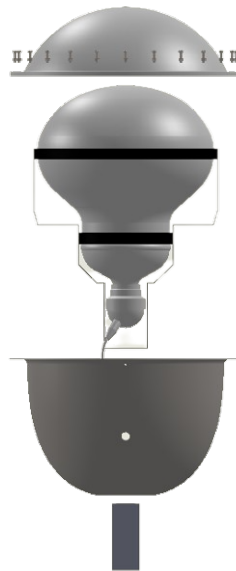


Figura 1: Parts del conjunt: a dalt, la cúpula d'acrílic amb els cargols; al centre, el PMT amb les bandes circulars i la banda Nadal; a la part inferior, la coberta i la guia.

Per poder obtenir el disseny final s'han hagut de realitzar diferents tests i simulacions:

1. Es van realitzar diversos anàlisis de vinclament mitjançant elements finits per obtenir estimacions del mode de col·lapse de l'estructura. Amb aquests anàlisis es van dur a terme els primers dissenys de la coberta i es van avaluar els seus punts crítics.
2. Els tests hidrostàtics intenten reproduir la tensió en què es trobarà sotmesa la coberta en diferents instants de la implosió. En aquests tests la coberta i l'acrílic es col·loquen dins d'un recipient i es fan cicles de pressió de 2 minuts a 8bars, 10bars, 12bars i fins arribar al col·lapse de l'estructura. Aquests tests són una excel·lent alternativa per assajar els prototips de coberta. Amb aquests tests es va determinar que era necessari modificar la geometria inicial de l'acrílic, ja que aquest no es trobava completament recolzat sobre la coberta. Amb els canvis que es van realitzar es va aconseguir augmentar la resposta hidrostàtica i arribar als 12bars que és el valor corresponent a la pressió màxima que va suportar la coberta JP-SUS, la qual va superar tots els tests d'implosió.
3. Un dels requisits per poder validar la coberta era realitzar tests d'implosió i comprovar que la coberta i l'acrílic del PMT implosionat i els PMTs veïns no es veien afectats per la implosió. Per realitzar aquests test va ser necessari reproduir les condicions de treball dels PMT dins el detector. Per dur a terme aquests tests va ser necessari l'ús d'un catamarà i una estructura, similar a la del detector, on s'hi podien acoblar 9 conjunts. Aquesta estructura es submergia a uns 80m de profunditat dins el mar i es forçava a implosionar el PMT central per avaluar la capacitat de la coberta de mitigar els efectes de la implosió.

Després de 4 campanyes es va obtenir un disseny capaç de mitigar els efectes de la implosió d'un PMT.

4. Amb l'objectiu de comprovar la reducció del gruix que pateix la planxa per l'efecte de la plasticitat en el procés d'embotició profunda es va reproduir aquest procés per elements finits. Per dur a terme aquesta simulació va ser necessari modelar tots els elements que intervenen en el procés. Els resultats de la simulació es van poder contrastar amb els resultats reals, en què el gruix de l'ala de la coberta pateix un augment a causa de l'efecte de la plasticitat i el gruix al cul de la coberta es veu reduït.

Finalment, amb aquesta sèrie de simulacions i tests s'ha aconseguit dissenyar un prototip capaç de resistir i mitigar els efectes de la implosió d'un PMT a 80m de profunditat. A més a més, s'ha aconseguit que treballant-hi 2 persones sense experiència professional es pugui muntar en un temps aproximat de 10 minuts.