Capítol 4 Sistema experimental

Els assaigs descrits en aquest capítol van ser realitzats al CIEM (*Canal d'Investigació i Experimentació Marítima*) en base al protocol descrit en el Conveni de col·laboració. Portar a terme assaigs a escala provoca la inevitable interferència del medi on s'ubica el model donant peu a possibles fenòmens de ressonància i re-reflexions en els límits de la instal·lació que cal minimitzar.

4.1 El canal CIEM

El Canal d'Investigació i Experimentació Marítimes (CIEM) del Laboratori d'Enginyeria Marítima (LIM) de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC), és un canal d'onatge cobert de 100 m de llarg, per 3 m d'amplada i 5 m d'alçada davant de l'actuador. Aquestes dimensions permeten realitzar assaigs en models reduïts pròxims a l'escala real, inferiors a 1:20 generalment, en funció del tipus de prototip a assajar.

Figura 4.1 Fotografia de la pala generadora tipus falca utilitzada al canal CIEM (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

4.1.1 Equip de generació

L'equip de generació d'onatge consta de diversos elements: un generador del tipus *falca*, que llisca sobre un pla inclinat 30º respecte l'horitzontal, que conforma el sistema de guia i l'estructura de recolzament, un sistema hidràulic, un actuador hidràulic, que disposa de tres motobombes que proporcionen la pressió al circuit, sistema de control electrònic, sintetitzador de l'espectre d'onatge i el corresponent software d'adquisició de dades. Una de les peces més importants és la servovàlvula, que regula el pas de l'oli a les càmeres de l'actuador i, per tant, el seu desplaçament. Aquesta servovàlvula està controlada electrònicament per un equip informàtic format per dos ordinadors: el primer, l'equip de generació d'onatge, que utilitza el programa WAVEGEN per enviar les senyals de voltatge adequades a l'onatge que es pretén generar, ja sigui regular o irregular. El segon, l'equip d'absorció, modifica la senyal enviada per evitar que la reflexió de l'onatge provoqui canvis en les característiques de l'onatge incident. Per a aconseguir-ho, el CIEM disposa del programa d'absorció actiu SAWAS.

4.1.2 Instrumental

Al llarg dels assaigs, es van utilitzar un total de 7 sensors de superfície lliure i 3 correntímetres electromagnètics disposats al llarg de la longitud del canal, així com també 6 sensors de pressió, i un perfilador.

Els sensors de superfície lliure dels que disposa el canal són de tipus resistiu, o el que és el mateix, realitzen la mesura de l'alçada de la làmina d'aigua gràcies a les variacions de resistència elèctrica. Consten d'un màstil principal, sobre el qual es desplaça un suport en el que es troben dos cables paral·lels de dos metres de longitud entre els que es medeix la variació de resistència elèctrica donats diferents nivells d'aigua.

Els correntímetres submergibles utilitzats, fabricats per Delft Hidraulics, tenen un cap esfèric de 40 mm de diàmetre, amb 4 electrodes que permeten mesurar velocitats del fluid en dues direccions ortogonals, en un rang màxim de $\pm$ 2.5 m/s. La seva precisió és de $\pm$ 0.01 m/s, $\pm$ 3% del valor mig més la resposta d'error per estar inclinat o no, la qual arriba a ser del 5% en angles de 30º.

Figura 4.2 Fotografia del perfilador mecànic del canal CIEM (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Els sensors de pressió intersticial consten d'un sensor piezoresistiu, que treballa sota un rang de precisions de 0 a 400 mbar. La senyal de sortida és de 0-10 V.

A part d'aquests aparells, el canal CIEM, com ja s'ha avançat, compta amb un perfilador de contacte amb roda, la funció del qual no és més que analitzar les variacions del talús de l'estructura produïdes per l'impacte de l'onatge generat sobre aquest. Es tracta d'un perfilador mecànic, que consta d'una plataforma mòbil que suporta un braç articulat. En moure's la plataforma, a velocitat constant, el braç articulat ressegueix el perfil del talús adaptant-se a les irregularitats. L'adquisició de dades, així com el control del seu moviment s'efectuen mitjançant un ordinador que rep la informació a través dels diferents sensors que incorpora el mateix perfilador.

4.2 Aspectes de la generació

4.2.1 La ressonància

Lligada a fenòmens de reflexió, la ressonància és el procés pel qual l'amplitud de l'ona estacionària o quasi-estacionària es veu augmentada. Des d'un punt de vista general, té lloc en el moment que la oscil·lació generada per una força externa té un període igual o semblant al període d'oscil·lació natural de la configuració geomètrica de la infraestructura, i és problemàtica sobretot en el règim d'ones llargues.

Per poder explicar el fenomen, hem de recòrrer a les equacions que el governen que són les equacions del *momentum* i l'equació de continuïtat. A partir d'elles i tenint en compte una sèrie d'hipòtesis (tensions tangencials nul·les en el fluid, assumint que u, v, w i η són suficientment petits, ...), condicions de contorn (en la superfície lliure i en el fons), podem arribar a linealitzar les equacions d'Euler i la de continuïtat simplificada. Substituïnt l'expressió de la pressió en condicions d'aigües poc profundes en aquestes, assumint fons horitzontal, i realitzant les corresponents operacions, s'aconsegueix l'equació d'ona:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} = C^2 \left(\frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \eta}{\partial y^2} \right), \text{ amb } C = \sqrt{gd} \qquad (4.1)$$

La solució de l'equació 4.1 per a una ona estacionària en una piscina d'onatge de fons horitzontal pren la forma següent:

$$\eta(x, y, t) = \frac{H}{2} \cos \frac{n\pi x}{l_x} \cos \frac{m\pi y}{l_y} \cos \sigma t \qquad (4.2)$$

d'on es poden extreure els períodes fonamental i armònics d'oscil·lació que vénen definits pels diferents modes d'oscil·lació corresponents a diferents valors enters de n i m. En un canal d'onatge, per a la consideració de la ressonància longitudinal se simplifica l'expressió general dels períodes $T_{n,m}$ (m=0, n=1, 2, 3,...) a:

$$T_n = \frac{2l_x}{n\sqrt{gd}} \qquad (4.3)$$

Sabent que el canal CIEM té una longitud de 45 m fins a peu d'estructura, amb un calat de 1.5m, el període fonamental d'oscil·lació és $T_x = 23.46s$, amb la qual cosa podem assegurar que no hi ha problemes de ressonància si es consideren períodes suficientment diferents (i en tot cas superiors) a aquest.

Pel cas de ressonància transversal, els períodes $T_{n,m}$ es poden expressar, amb m=1, 2, 3, ..., i n=0, com:

$$T_m = \frac{2l_y}{m\sqrt{gd}} \qquad (4.4)$$

trobant que el període fonamental d'oscil·lació és de $T_x = 1.56s$, considerant una amplada de 3m i el calat de 1.5m.

Les consideracions tractades permeten realitzar un estudi sobre la generació d'ones transversals en funció del període i el valor d'*n*, de manera que es poden diferenciar aquelles combinacions d'aquests factors que produeixen ones

transversals i les que no. El resultat es mostra en la següent figura (4.2), en la qual la zona sombrejada simbolitza aquell rang de valors pels quals es genera ona transversal.

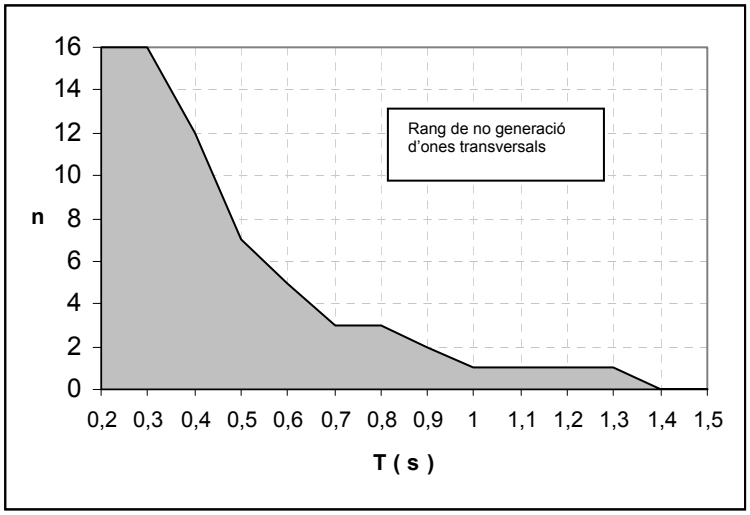

Figura 4.3 Condicions de generació d'ones transversals al canal CIEM
(Font: Elaboració pròpia)

4.2.2 La platja dissipativa

Les condicions requerides en els assaigs, i especialment durant les proves de calibració de la capacitat de generació de la pala, obliguen a la creació d'una platja artificial dissipativa, amb l'objectiu de fer que l'onatge creat pel seguit de proves no es vegi afectat en cap sentit per les característiques limitants d'un canal. Aquesta platja té la propietat de no permetre la reflexió de les ones ja que, en incidir-hi, aquestes veuen dissipada la pràctica totalitat de la seva energia.

Per al disseny d'una rampa sense reflexió és necessari basar-se en una hipòtesi principal de partida, que permeti, localment, assumir fons horitzontal (teoria d'ones de forma constant). Aquesta hipòtesi obliga a complir que el canvi en les propietats de l'ona en propagar-se sobre un fons amb profunditat variable sigui suficientment suau. Parlar de suavitat comporta fer ús d'expressions on apareix el concepte de derivada. El paràmetre escollit per descriure el grau de suavitat del fons (Eq. 4.5) respon a la relació entre l'increment de profunditat en una longitud d'ona i la profunditat, de manera que se sap que el pendent és suau si aquest paràmetre es manté petit i, si és de l'ordre de la unitat, l'energia refectida és menor del 0,1%, corresponent a un coeficient de reflexió del 3% (Rousseau, 1952 i Yoshida, 1959).

$$\delta = \frac{\Delta h_L}{h} = \frac{|h_x| L}{h} << 1 \qquad (4.5)$$

La solució a l'equació diferencial que es planteja és una paràbola de la forma:

$$h = \frac{\delta^2}{4T^2 g} x^2 = Ax^2 \tag{4.6}$$

a la que s'arriba si es resol l'equació analíticament, operació que només és factible si se suposen condicions d'aigües somes, és a dir, poc profundes, en les que es compleix la relació provinent de la teoria lineal d'ones $L = T\sqrt{gh}$, i considerant la condició de contorn que assegura una tangent horitzontal en l'origen (h=0 en x=0).

Tenint en compte que la solució trobada depén del període de l'onatge, no sorprén el fet que, mantenint constant la profunditat del canal, la distància a la que la paràbola talla el fons (suposant l'origen de coordenades en l'extrem de tangent horitzontal) també en depengui. Aquesta distància, i per tant la longitud de la rampa, augmenta, de manera lineal, en fer-ho el període, tal i com es pot comprovar directament en l'expressió analítica.

Les dimensions de la platja dissipativa emprades en el canal CIEM són les que segueixen:

- Profunditat en origen: -0.15 m (15 cm per sobre del nivell mig)
- Profunditat en el fons del canal: 1.50 m
- Tamany de les pedres: 0.075 – 0.105 m
- Longitud de la paràbola: 20 m

A partir d'aquestes dimensions es pot trobar el paràmetre de la paràbola solució. Així, i considerant un període de $T = 3s$, valor mig del rang amb el que es treballa normalment amb la pala generadora, amb un valor de $\delta = 2$, la platja pren la forma de:

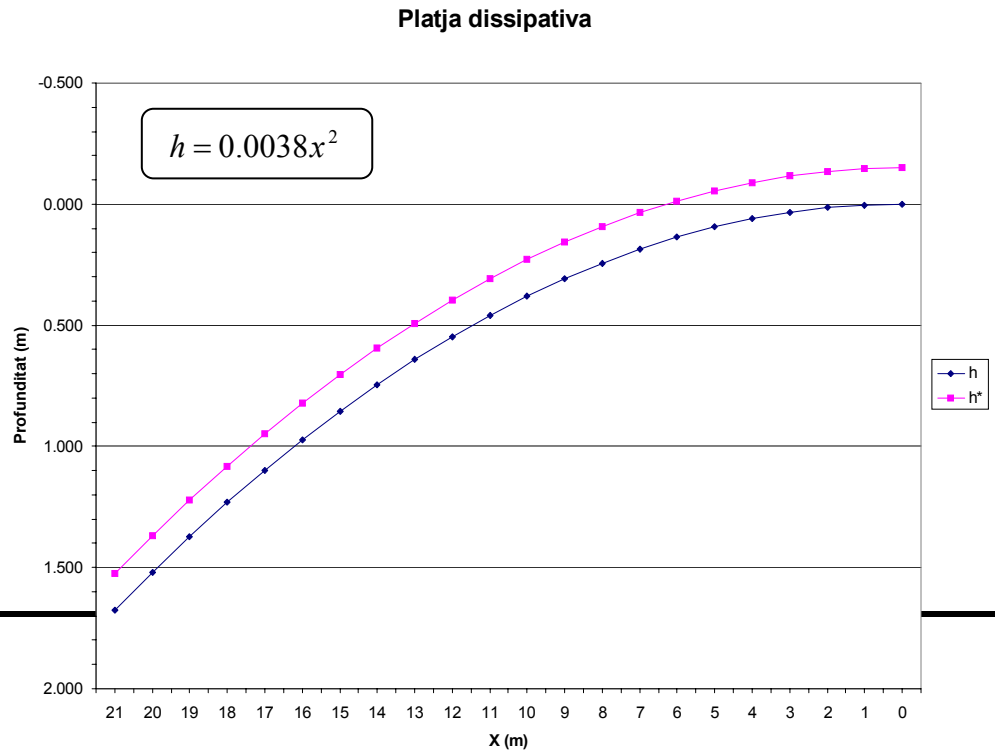

Figura 4.4 Perfil de la platja dissipativa (Font: Elaboració pròpia)

El volum ocupat per la platja és de 37 m^3. El material utilitzat per a la construcció de la platja són revoltons coberts per pedra granítica de 0,5 kg d'uns 10 cm de diàmetre D_{50}. Això significa que es tracta d'una rampa porosa, fet que suposa que la dissipació deguda al flux en el medi porós pot provocar una disminució de l'alçada d'ona sobre la rampa tal que l'onatge podria dissipar-se sense trencar. És obvi pensar llavors que l'asomerament sobre una rampa d'aquest tipus és inferior al d'una amb al fons impermeable.

Figura 4.5 Fotografia de la platja dissipativa construïda al canal CIEM (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

S'ha de tenir en compte però, que la dissipació de l'onatge, ja sigui per trencament com per dissipació en el medi porós, provoca una sobreelevació del nivell mig que és màxima al final de la rampa. És per aquesta raó que l'origen d'aquesta se situa lleugerament per sobre del nivell mig (en aquest cas 15 cm), tal i com recull la representació de la platja en la figura anterior.

Cal notar que en el procés de determinació de les millors condicions sota les que es pretén treballar, són necessàries diferents hipòtesis i simplificacions. En escollir com a valor del grau de suavitat $\delta = 2$, el que s'intenta és abarcar el màxim de possibles períodes dels onatges generats de tal forma que no comportin influències en els resultats. Aquesta decisió no provoca canvis substancials pel compliment de l'objectiu de la platja dissipativa ja que l'energia reflectida en aquest cas segueix sent reduïda, i per tant, el coeficient de reflexió acceptable. La major incidència d'aquest factor acaba sent sobre la longitud de rampa de platja, disseny en el que s'han hagut de suposar també una valors determinats tant de període com de profunditat. Pel que fa al període, analitzant la capacitat generadora del canal i l'estabilitat de l'onatge creat, $T = 3s$ correspon al màxim de la relació entre H i T, i llavors un valor característic del canal. Pel

que fa a la profunditat, el canal no presenta un fons horitzontal, però tractar la formulació emprada afegint aquest factor no representa un benefici clar. Aquesta simplificació és obligada tant per la realització de la platja com també per la valoració de la ressonància longitudinal i transversal.

4.3 El model físic

Per a la realització dels assaigs, s'ha dut a terme la construcció d'un dic en talús convencional de secció no simètrica, ultrapassable en les condicions d'onatge de l'assaig, amb una cota de coronació a 231.5 cm, amb un talús de 1.5H:1V en el costat mar, i un talús de 1.25H:1V en el costat terra. Aquest consta de tres capes ben diferenciades: el nucli, el filtre i el mantell principal. Aquesta diferència s'estableix bàsicament, considerant la funció a desenvolupar per cada una d'elles en el conjunt de l'estructura, a través del tamany de les peces que les conformen. La secció transversal del model és la que recull la següent figura:

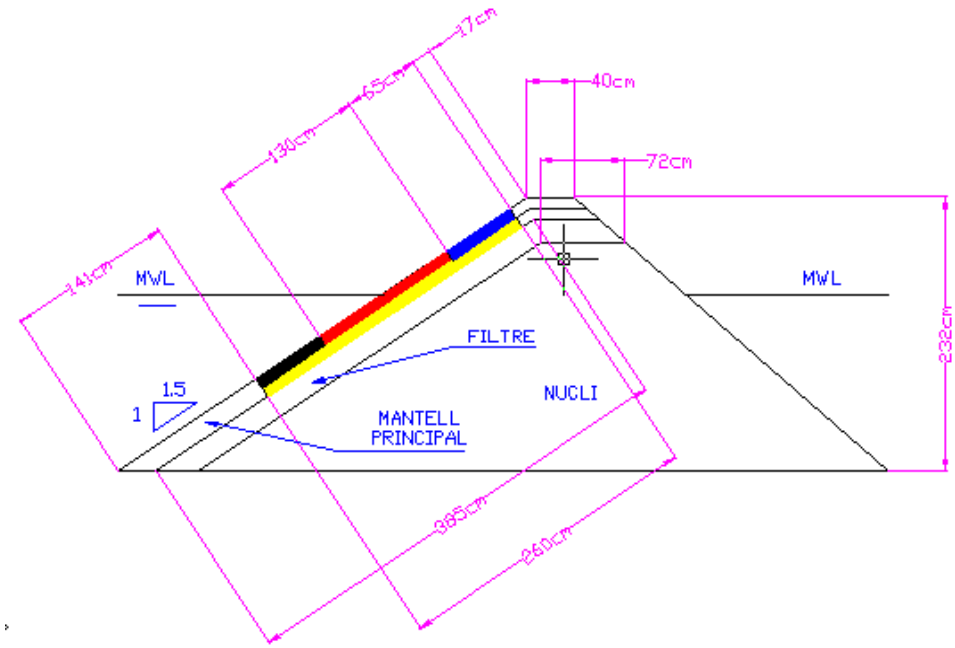

Figura 4.6 Secció transversal del dic (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

4.3.1 Materials empleats

El nucli estava compost d'àrid calcari 20/40, i ocupava la major part de la secció d'estudi (aproximadament el 80% del volum de l'obra). El material provenia d'una cantera de El Garraf, província de Barcelona, PROMSA. El filtre estava format per peces de diàmetre D_{50} entre 40 – 60 mm, de la mateixa procedència que les del nucli, disposades en quatre capes. Pel que fa al conjunt de peces que conformaven el mantell principal, també calcàries i de pes W_{50} pròxim als 1500 g., cal dir que es trobaven distribuïdes en dues capes conseguint així un gruix de magnitud 2 D_{50}. Segons la seva posició, les peces quedaven representades per

diferents colors que permetrien determinar els moviments visualment i el moment en que s'assolís l'Inici de Destrucció. La franja de peces pintades corresponia a la zona en la que les ones generades poden mobilitzar-les. El criteri seguit per delimitar els colors, era en funció d'una alçada d'ona de referència que és de H = 36 cm. Sobre el talús, a partir del nivell mig de l'aigua en repós, una alçada d'ona marcava el límit de les peces vermelles i dues alçades d'ona delimitaven les zones blava i negra per sobre i per sota d'aquest nivell respectivament. Les peces grogues ocupaven la totalitat de l'espai destinat a peces pintades en la capa més interna del mantell.

Per als tres tamanys de material, es va dur a terme una anàlisi granulomètrica a partir d'una mostra de 400 peces en tots els casos. Cal notar, però, que pel mantell la mostra va ser dividida en dues segons la coloració. Així, es va analitzar una mostra de 200 peces grogues i una altra, també de 200 peces, però de color vermell. No obstant, també es va realitzat un estudi conjunt com a mostra de 400 peces, que representava el conjunt de peces que conformaven la totalitat del mantell principal.

En cada cas, un cop classificades segons el pes, es van calcular els diferents percentatges acumulats de peces amb pes igual o inferior a un donat. Amb aquestes dades i l'ajuda del programa *Grapher 3.0* es va obtenir una equació d'ajust a les corbes de distribució granulomètrica. Pel càlcul dels diàmetres D_{15}, D_{50} i D_{85} es va prendre com a valor de la densitat 2.7 t/m^3 (segons cantera), fet que podria haver provocat part de les desviacions respecte els teòrics.

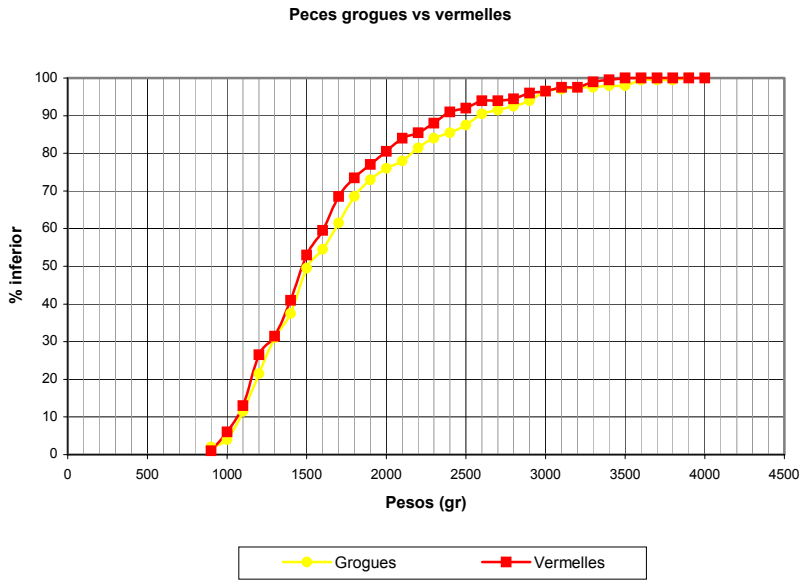

Figura 4.7 Corba granulomètrica de les peces grogues i vermelles del mantell principal (Font: Elaboració pròpia)

Per conveni, la permeabilitat del dic s'havia de mantenir constant al llarg dels assaigs amb un valor de P = 0.4. Tenint en compte aquest valor, considerant els volums a ocupar per cada color V_t, agafant com a diàmetre mig el D_{50} de la

mostra de peces grogues, i una densitat de 2.7 t/m^3, es va trobar el número de blocs de cada color que eren necessaris, amb els següents resultats:

$$N_{blocs,i} = \frac{(1-p)\cdot V_t}{D_{50}^3} \text{ , on p = 0.4}$$

N_{grocs} = 654 , $N_{vermelles}$ = 327 , N_{blaves} = N_{negres} =164 , $N_{sense\ pintar}$ = 1000

El control de qualitat de la construcció es va anar realitzant periòdicament. Amb l'ajuda del perfilador es va mesurar el perfil per a comparar-lo amb el teòric. El perfil construït podia tenir un marge d'entre $\pm$ D_{n50} / 3, on D_{n50} correspon al diàmetre nominal de les peces del mantell principal.

4.4 Metodologia dels assaigs

4.4.1 Set-up fase de calibració

El pas previ de l'assaig consisteix en la calibració de l'instrumental que es farà servir, amb la fi d'analitzar i comprovar els resultats que proporciona, de manera que les dades obtingudes siguin el més fiables possible. En el cas que ens ocupa, aquest procés vé marcat per conveni per tal d'uniformitzar resultats amb els altres laboratoris que intervenen en els assaigs.

L'objectiu principal de la calibració, tal i com s'indica en el projecte, consisteix en la determinació i ajust de dues corbes de calibració. La corba de calibració limita, relacionant alçada d'ona i període d'onatge, la capacitat generadora de l'actuador hidràulic. Aquesta corba s'aconsegueix amb la combinació de dues branques que corresponen per una part a la mateixa capacitat de generar onatge per part de la pala en funció de la màxima carrera, o desplaçament en horitzontal d'aquesta, el període, i la profunditat, i en segon lloc, i representada per l'altra branca, la consideració lògica de la possilbilitat d'existència de certes combinacions (H , T) que provoquin inestabilitat en l'ona generada. Així doncs, aquesta segona branca defineix, en funció d'una determinada relació de peralt, i per tant de la mateixa alçada d'ona i el període, les ones estables amb un peralt màxim.

El que es pretén llavors amb la calibració és comparar, per a 2 carreres constants i predefinides, i un determinat interval de períodes, el valor teòric i el valor mesurat en el canal. Les relacions a complir proposades pel conveni sobre el funcionament de la pala són:

$$\frac{S}{h_{pala}} = 0.1 \qquad (4.7a)$$

$$\frac{S}{h_{pala}} = 0.3 \qquad (4.7b)$$

on S és la carrera i h_{pala} és la profunditat al peu de l'actuador. Sabent per tant que aquesta profunditat és en el cas del canal CIEM de 2,62 m es pot determinar fàcilment el desplaçament horitzontal a considerar ($S = 0.262m$ i $S = 0.786m$) Comparant amb la máxima carrera posible del sistema (2.0 m), durant el procés de calibració de la generació es treballa a un 13% i un 39%, respectivament, de les possibilitats de generació de la instal·lació. La manera d'introduïr però aquestes relacions en el programa de generació d'onatge no es fa de forma directa ja que és necessari convertir aquestes carreres a rangs de voltatge ($\pm 1.22V$ i $\pm 3.65V$ respectivament).

Posició del sensors

El conveni defineix tres grups de sensors equiespaiats (veure figura 4.8) a una distància de $l_2/3$ l'un de l'altre, essent l_2 la distància entre el peu de la rampa i la pala, i un altre grup situat prop de la pala a una distància tal que els sensors no es vegin afectats per ones evanescents. Donat el número de sensors dels que disposa el canal CIEM (8), el sistema d'absorció, i amb el perfil existent, la disposició final dels aparells de mesura és en funció del període la que mostren les següents taules:

DISPOSICIÓ SENSORS PER T=1.5-2S

Device Code	Card & Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO 0	8725	-----	-----
DEMMOD	CIO 1	8725	-----	-----
FEEDBACK	CIO 2	8725	-----	-----
ERROR	CIO 3	8725	-----	-----
WG0	AIP 0	7340	129	-233.1
WG1	AIP 1	7315	129	-223.0
WG2	AIP 2	7245	129	-210.2
WG3	AIP 3	6755	129	-182.9
WG4	AIP 4	6685	68	-179.1
WG5	AIP5	4815	129	-150.0
WG6	AIP6	4885	68	-150.0
WG7	AIP7	2875	129	-150.0

Taula 4.1a Disposició dels sensors per a T=1.5-2 s (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

DISPOSICIÓ SENSORS PER T=2-5S

Device Code	Card & Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO 0	8725	-----	-----
DEMMOD	CIO 1	8725	-----	-----
FEEDBACK	CIO 2	8725	-----	-----

ERROR	CIO 3	8725	-----	-----
WG0	AIP 0	7360	129	-233.1
WG1	AIP 1	7315	129	-223.0
WG2	AIP 2	7205	129	-210.2
WG3	AIP 3	6755	129	-182.9
WG4	AIP 4	6650	68	-179.1
WG5	AIP5	4815	129	-150.0
WG6	AIP6	4925	68	-150.0
WG7	AIP7	2875	129	-150.0

Taula 4.1b Disposició dels sensors per a T=2-5 s (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

DISPOSICIÓ SENSORS PER T=5-9S

Device Code	Card & Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO 0	8725	-----	-----
DEMMOD	CIO 1	8725	-----	-----
FEEDBACK	CIO 2	8725	-----	-----
ERROR	CIO 3	8725	-----	-----
WG0	AIP 0	7375	129	-233.1
WG1	AIP 1	7315	129	-223.0
WG2	AIP 2	7165	129	-210.2
WG3	AIP 3	6755	129	-182.9
WG4	AIP 4	6605	68	-179.1
WG5	AIP5	4815	129	-150.0
WG6	AIP6	4965	68	-150.0
WG7	AIP7	2875	129	-150.0

Taula 4.1c Disposició dels sensors per a T=5-9 s (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

La disposició de sensors d'un mateix grup és la que marca les diferències en funció del període, ja que el conveni fa complir una condició. Aquesta consisteix en que, per un període fixe (T) i una profunditat d'aigua en el canal, la distància entre els aparells de mesura no pot coincidir simultàniament amb:

$$d_1 = n \cdot \frac{L}{2} \qquad \text{o} \qquad d_2 = m \cdot \frac{L}{2} \tag{4.8}$$

on L és la longitud d'ona associada al període i m i n són nombres enters no negatius. S'indica a part la recomenació d'estar el més allunyat possible d'aquests valors i evitar que d_1 i d_2 siguin iguals.

Precisament són aquestes dues condicions les que provoquen la doble disposició de sensors al llarg del procés de presa de dades. El fet que les distàncies depenguin de la longitud d'ona, implica de ple, com ja s'ha ressenyat

anteriorment, el període de l'onatge, de forma que per evitar configuracions diferents per cada assaig, se n'estableix una que serveixi per a un nombre raonable d'assaigs. La raó per la qual és necessari establir aquestes diferents configuracions és per a poder aplicar posteriorment la metodologia de separació d'onatge incident i reflectit.

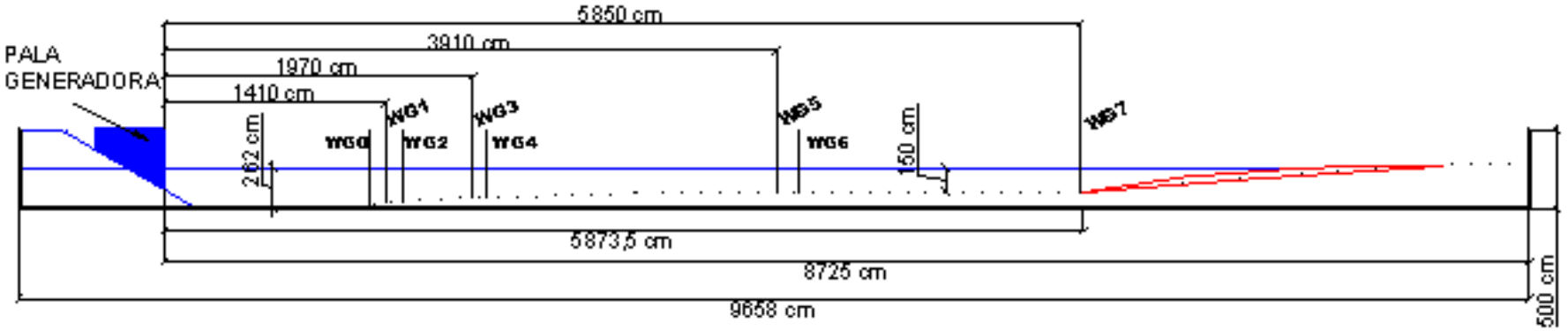

Figura 4.8 Disposició dels sensors al llarg del canal CIEM durant la fase de calibració (Font: Canal CIEM)

4.4.2 Assaigs principals

Per a aquesta secció estructural, es realitzaran un total de 24 tests, ja que tant per a onatge regular com irregular, es tenen en compte dos paràmetres d'Iribarren que es mantenen constants variant al seu torn el període i l'alçada d'ona, i que cada cas es repetirà 6 cops. Cada test finalitza quan s'assoleix el nivell d'inici de destrucció (ID), o el que és el mateix quan la segona capa del mantell principal (peces de color groc) es veu afectada de tal manera que una peça perd la seva posició desplaçant-se cap a l'exterior del talús. Els paràmetres d'Iribarren seleccionats són aquells que marquen el límit entre trencament tipus *surging* i *plunging*, és a dir, aquells que corresponen a trencament en col·lapse (Ir=2.5-3.5), calculant-se a partir del període mig en cas d'onatge irregular, essent aquest com a mínim de $\sqrt{3}$ s, per conveni.

Figura 4.9 Fotografia del dic reconstruït per a l'inici d'una repetició (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Figura 4.10 Fotografia del dic amb grau d'avaria d'inici de destrucció (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Per cada test, el protocol seguit serà:

- Revisió del perfil del talús
- Fotografia
- Onatge d'assentament de l'estructura:
  cas regular → 500 ones de H = 18 cm
  cas irregular → 1000 ones de H_s = 14 cm
- Perfil del talús
- Fotografia
- Increment de 3 cm per H o H_s:
  cas regular → 500 ones
  cas irregular → 1000 ones
- Repetir els tres últims passos fins arribar a Inici de Destrucció

La planificació dels assaigs es pot resumir en les següents taules:

Onatge regular

							t total		
	H (cm)	T (Ir=2.5)	f (Ir=2.5)	Hdem	Correc	5T	seg	min	Nolas
R1	18	1.732	0.785	14	0.750	6.37	643.00	10.72	505
R2	21	1.732	0.727	16	0.759	6.88	694.52	11.58	505
R3	24	1.732	0.680	18	0.768	7.35	742.48	12.37	505
R4	27	1.732	0.641	21	0.777	7.80	787.52	13.13	505
R5	30	1.732	0.608	24	0.786	8.22	830.12	13.84	505
R6	33	1.732	0.580	26	0.794	8.62	870.63	14.51	505
R7	36	1.801	0.555	29	0.803	9.00	909.35	15.16	505
R8	39	1.874	0.534	32	0.812	9.37	946.48	15.77	505

R9	42	1.945	0.514	34	0.821	9.72	982.21	16.37	505
R10	45	2.013	0.497	37	0.830	10.07	1016.68	16.94	505

	H (cm)	T (Ir=3.5)	f (Ir=3.5)	Hdem	Correc	5T	seg	min	Nolas
R11	18	1.783	0.561	15	0.809	8.91	900.21	15.00	505
R12	21	1.925	0.519	17	0.830	9.63	972.33	16.21	505
R13	24	2.058	0.486	20	0.851	10.29	1039.47	17.32	505
R14	27	2.183	0.458	24	0.873	10.92	1102.52	18.38	505
R15	30	2.301	0.435	27	0.894	11.51	1162.16	19.37	505
R16	33	2.414	0.414	30	0.915	12.07	1218.89	20.31	505
R17	36	2.521	0.397	34	0.936	12.60	1273.08	21.22	505
R18	39	2.624	0.381	37	0.958	13.12	1325.07	22.08	505
R19	42	2.723	0.367	41	0.979	13.61	1375.09	22.92	505
R20	45	2.819	0.355	45	1.000	14.09	1423.35	23.72	505

Taula 4.2 Planificació. Cas regular (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Onatge irregular

						t total		
	Hs (cm)	Tp (Ir=2.5)	fp (Ir=2.5)	Hs,dem	5T	seg	min	Nolas
I1	12	1.040	0.962	0.114	5.20	800.51	13.34	1013
I2	15	1.162	0.860	0.143	5.81	895.00	14.92	1013
I3	18	1.273	0.785	0.171	6.37	980.42	16.34	1013
I4	21	1.375	0.727	0.200	6.88	1058.98	17.65	1013
I5	24	1.470	0.680	0.228	7.35	1132.10	18.87	1013
I6	27	1.559	0.641	0.257	7.80	1200.77	20.01	1013
I7	30	1.644	0.608	0.285	8.22	1265.72	21.10	1013
I8	33	1.724	0.580	0.314	8.62	1327.50	22.12	1013
I9	36	1.801	0.555	0.342	9.00	1386.53	23.11	1013
I10	39	1.874	0.534	0.371	9.37	1443.14	24.05	1013

	Hs (cm)	Tp (Ir=3.5)	fp (Ir=3.5)		5T	seg	min	Nolas
I11	12	1.455	0.687	0.108	7.28	1120.72	18.68	1013
I12	15	1.627	0.615	0.135	8.14	1253.00	20.88	1013
I13	18	1.783	0.561	0.162	8.91	1372.59	22.88	1013
I14	21	1.925	0.519	0.189	9.63	1482.57	24.71	1013
I15	24	2.058	0.486	0.216	10.29	1584.93	26.42	1013
I16	27	2.183	0.458	0.243	10.92	1681.08	28.02	1013
I17	30	2.301	0.435	0.270	11.51	1772.01	29.53	1013
I18	33	2.414	0.414	0.297	12.07	1858.50	30.97	1013
I19	36	2.521	0.397	0.324	12.60	1941.14	32.35	1013
I20	39	2.624	0.381	0.351	13.12	2020.40	33.67	1013

Taula 4.3 Planificació. Cas irregular (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

S'ha previst un màxim de 10 alçades d'ona per a cada test, considerant que el nivell d'avaria límit es veurà superat abans d'exhaurir els diferents casos exposats en les taules anteriors.

Mereix atenció la presència de dues columnes en la planificació en onatge regular que representen la modificació de l'alçada d'ona demanada a la pala. Després dels assaigs de calibració, s'ha observat que l'actuador genera ones majors a les demandades. Mitjançant els resultats obtinguts s'ha trobat un coeficient corrector (columna *Correc) que*, aplicat a l'alçada d'ona teòrica, proporciona l'alçada d'ona a demanar a la pala (columna *Hdem*).

La presa de la fotografia es farà segons les indicacions comunes proposades als diferents laboratoris implicats. Aquesta es prendrà perpendicularment al talús, centrant-se en un rectangle de referència de 150 cm d'altura i 225 cm d'ample, l'eix horitzontal central del qual coincideix amb el nivell d'aigua en repós. La distància entre la càmara i l'estructura al llarg de la visual central normal al pla del mantell principal serà de 2.04 m, fet que implica un punt situat a 3.20 m en vertical i a 0.2 m en horitzontal del peu del dic.

Tal i com s'ha vist en la fase de calibració, els sensors prenen diferents posicions en funció del període d'onatge que s'assaja. Cal recordar que això és degut a les condicions òptimes per a la discretització de l'onatge en incident i reflectit. En la taula que segueix (4.4) es veuen resumides les coordenades en les que es col·loquen els sensors WG3, WG4 i WG5. En la primera i la segona columna es recullen les separacions dels sensors WG3 i WG5 respecte el sensor WG4 (situat entre els altres), *dx1* i *dx3* respectivament. D'aquesta manera, l'única coordenada que es veu afectada al llarg dels assaigs és la X, i només en el cas dels sensors WG3 i WG5. La columna *Assaigs* indica en quins casos s'empren les diferents disposicions, on *R* significa onatge regular i *I* onatge irregular, i els números fan referència a la tanda sego ns el període i l'alçada d'ona (veure taules planificació dels assaigs).

dx1	dx3	Assaig	sensor	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
		R01				
		R02				
		R03	WG3	5302	129	-150.0
150	65	R04	WG4	5152	232	-150.0
		R05	WG5	5087	131	-150.0
		R06				
		R07				
		R08				
		R09	WG3	5332	129	-150.0
180	70	R10	WG4	5152	232	-150.0
		R11	WG5	5082	131	-150.0
		R12				
		R13	WG3	5377	129	-150.0
225	80	R14	WG4	5152	232	-150.0
		R15	WG5	5072	131	-150.0
		R16				
		R17	WG3	5432	129	-150.0
280	105	R18	WG4	5152	232	-150.0
		R19	WG5	5047	131	-150.0
		R20				

Taula 4.4 Disposició dels sensors WG3, WG4, WG5 segons la tanda d assaig (Font: Elaboració pròpia)

Device Code	Card	Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO	0	8731		
DEMMOD	CIO	1	8731		
FEEDBACK	CIO	2	8731		
ERROR	CIO	3	8731		
WG0	AIP	0	7360	129	-233.0
WG1	AIP	1	7315	129	-223.0
WG2	AIP	2	7185	209	-210.0
WG3	AIP	3	5302	129	-150.0
WG4	AIP	4	5152	232	-150.0
WG5	AIP	5	5087	131	-150.0
ATM/N0	AIP	6	4500	15	-150.0
ATM/N1	AIP	7	4669.5	15	-150.0
ATM/N2	AIP	8	5034.5	15	-150.0
ATM/N3	AIP	9	5469.5	15	-150.0
ATM/N4	AIP	10	5904.5	15	-167.5
ATM/N5	AIP	11	4852	15	-150.0
ATM/N6	AIP	12	7070	15	-150.0
EMS0X	CIO	4	5152	58	-50.0
EMS0Y	CIO	5	5152	58	-50.0

Taula 4.5a Disposició dels sensors per a les tandes R01-R07, I01-I09, I11-I12 (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Device Code	Card	Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO	0	8731		
DEMMOD	CIO	1	8731		
FEEDBACK	CIO	2	8731		
ERROR	CIO	3	8731		
WG0	AIP	0	7360	129	-233.0
WG1	AIP	1	7315	129	-223.0
WG2	AIP	2	7185	209	-210.0
WG3	AIP	3	5332	129	-150.0
WG4	AIP	4	5152	232	-150.0
WG5	AIP	5	5082	131	-150.0
ATM/N0	AIP	6	4500	15	-150.0
ATM/N1	AIP	7	4669.5	15	-150.0
ATM/N2	AIP	8	5034.5	15	-150.0
ATM/N3	AIP	9	5469.5	15	-150.0
ATM/N4	AIP	10	5904.5	15	-167.5
ATM/N5	AIP	11	4852	15	-150.0
ATM/N6	AIP	12	7070	15	-150.0

EMS0X	CIO	4	5152	58	-50.0
EMS0Y	CIO	5	5152	58	-50.0

Taula 4.5b Disposició dels sensors per a les tandes R08-R10, I10 (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Device Code	Card	Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO	0	8731		
DEMMOD	CIO	1	8731		
FEEDBACK	CIO	2	8731		
ERROR	CIO	3	8731		
WG0	AIP	0	7360	129	-233.0
WG1	AIP	1	7315	129	-223.0
WG2	AIP	2	7185	209	-210.0
WG3	AIP	3	5322	129	-150.0
WG4	AIP	4	5152	232	-150.0
WG5	AIP	5	5087	131	-150.0
ATM/N0	AIP	6	4500	15	-150.0
ATM/N1	AIP	7	4669.5	15	-150.0
ATM/N2	AIP	8	5034.5	15	-150.0
ATM/N3	AIP	9	5469.5	15	-150.0
ATM/N4	AIP	10	5904.5	15	-167.5
ATM/N5	AIP	11	4852	15	-150.0
ATM/N6	AIP	12	7070	15	-150.0
EMS0X	CIO	4	5152	58	-50.0
EMS0Y	CIO	5	5152	58	-50.0

Taula 4.5c Disposició dels sensors per a les tandes R11-R12, I13-I14 (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Device Code	Card	Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO	0	8731		
DEMMOD	CIO	1	8731		
FEEDBACK	CIO	2	8731		
ERROR	CIO	3	8731		
WG0	AIP	0	7360	129	-233.0
WG1	AIP	1	7315	129	-223.0
WG2	AIP	2	7185	209	-210.0
WG3	AIP	3	5377	129	-150.0
WG4	AIP	4	5152	232	-150.0
WG5	AIP	5	5072	131	-150.0
ATM/N0	AIP	6	4500	15	-150.0

ATM/N1	AIP	7	4669.5	15	-150.0
ATM/N2	AIP	8	5034.5	15	-150.0
ATM/N3	AIP	9	5469.5	15	-150.0
ATM/N4	AIP	10	5904.5	15	-167.5
ATM/N5	AIP	11	4852	15	-150.0
ATM/N6	AIP	12	7070	15	-150.0
EMS0X	CIO	4	5152	58	-50.0
EMS0Y	CIO	5	5152	58	-50.0

Taula 4.5d Disposició dels sensors per a les tandes R13-R15, I15-I17 (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

Device Code	Card	Channel	X (cm)	Y (cm)	Z (cm)
DEMAND	CIO	0	8731		
DEMMOD	CIO	1	8731		
FEEDBACK	CIO	2	8731		
ERROR	CIO	3	8731		
WG0	AIP	0	7360	129	-233.0
WG1	AIP	1	7315	129	-223.0
WG2	AIP	2	7185	209	-210.0
WG3	AIP	3	5432	129	-150.0
WG4	AIP	4	5152	232	-150.0
WG5	AIP	5	5047	131	-150.0
ATM/N0	AIP	6	4500	15	-150.0
ATM/N1	AIP	7	4669.5	15	-150.0
ATM/N2	AIP	8	5034.5	15	-150.0
ATM/N3	AIP	9	5469.5	15	-150.0
ATM/N4	AIP	10	5904.5	15	-167.5
ATM/N5	AIP	11	4852	15	-150.0
ATM/N6	AIP	12	7070	15	-150.0
EMS0X	CIO	4	5152	58	-50.0
EMS0Y	CIO	5	5152	58	-50.0

Taula 4.5e Disposició dels sensors per a les tandes R17-R20, I18-I20 (Font: Gironella, X., Canal CIEM)

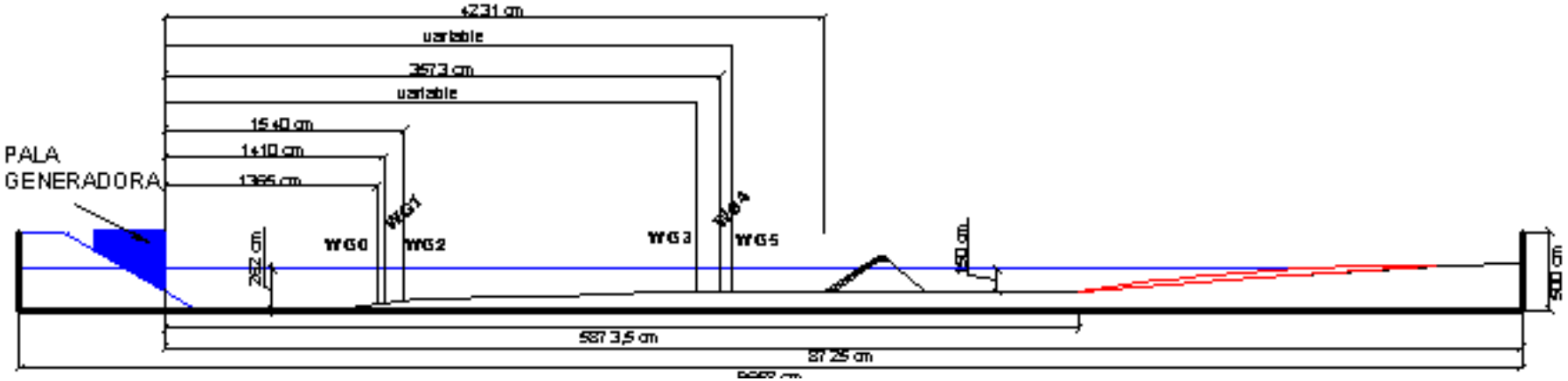

Figura 4.11 Disposició dels sensors al llarg del canal CIEM durant els assaigs principals (Font: Canal CIEM)