



Universitat de Lleida

Desenvolupament d'equips per a la mesura d'esforços entre tractors i ormejos agrícoles per a la realització d'assajos en camp

Jordi Pijuan Cases

Dipòsit Legal: L.1440-2015

<http://hdl.handle.net/10803/311796>

ADVERTIMENT. L'accés als continguts d'aquesta tesi doctoral i la seva utilització ha de respectar els drets de la persona autora. Pot ser utilitzada per a consulta o estudi personal, així com en activitats o materials d'investigació i docència en els termes establerts a l'art. 32 del Text Refós de la Llei de Propietat Intel·lectual (RDL 1/1996). Per altres utilitzacions es requereix l'autorització prèvia i expressa de la persona autora. En qualsevol cas, en la utilització dels seus continguts caldrà indicar de forma clara el nom i cognoms de la persona autora i el títol de la tesi doctoral. No s'autoritza la seva reproducció o altres formes d'explotació efectuades amb finalitats de lucre ni la seva comunicació pública des d'un lloc aliè al servei TDX. Tampoc s'autoritza la presentació del seu contingut en una finestra o marc aliè a TDX (framing). Aquesta reserva de drets afecta tant als continguts de la tesi com als seus resums i índexs.

ADVERTENCIA. El acceso a los contenidos de esta tesis doctoral y su utilización debe respetar los derechos de la persona autora. Puede ser utilizada para consulta o estudio personal, así como en actividades o materiales de investigación y docencia en los términos establecidos en el art. 32 del Texto Refundido de la Ley de Propiedad Intelectual (RDL 1/1996). Para otros usos se requiere la autorización previa y expresa de la persona autora. En cualquier caso, en la utilización de sus contenidos se deberá indicar de forma clara el nombre y apellidos de la persona autora y el título de la tesis doctoral. No se autoriza su reproducción u otras formas de explotación efectuadas con fines lucrativos ni su comunicación pública desde un sitio ajeno al servicio TDR. Tampoco se autoriza la presentación de su contenido en una ventana o marco ajeno a TDR (framing). Esta reserva de derechos afecta tanto al contenido de la tesis como a sus resúmenes e índices.

WARNING. Access to the contents of this doctoral thesis and its use must respect the rights of the author. It can be used for reference or private study, as well as research and learning activities or materials in the terms established by the 32nd article of the Spanish Consolidated Copyright Act (RDL 1/1996). Express and previous authorization of the author is required for any other uses. In any case, when using its content, full name of the author and title of the thesis must be clearly indicated. Reproduction or other forms of for profit use or public communication from outside TDX service is not allowed. Presentation of its content in a window or frame external to TDX (framing) is not authorized either. These rights affect both the content of the thesis and its abstracts and indexes.

12. INSTRUMENTACIÓ COMPLEMENTÀRIA PER ALS ASSAJOS EN CAMP

En aquest capítol es presenten un conjunt d'equips i sensors que s'utilitzaran en els assajos en camp per a l'obtenció d'altres variables interessants per analitzar el comportament del tractor i l'orkeig, juntament amb els equips dinamomètrics desenvolupats en aquesta tesi. També es presenta tot l'equipament encarregat de l'adquisició i el tractament de les dades durant els assajos amb tota la programació i posada a punt d'aquest.

12.1. Equips i sensors complementaris per als assajos en camp

Juntament amb el dinamòmetre tripuntal i amb els enganxalls dinamomètrics per a orkejos remolcats, s'utilitzaran un conjunt de sensors complementaris en les proves en camp que proporcionaran informació addicional, per tal d'estudiar el comportament del tractor i l'orkeig agrícola. En els següents apartats es descriu aquest equipament amb les seves característiques principals. Aquests equips són:

- Equip de posicionament GNSS (Global Navigation Satellite System)
- Inclímetre per a la mesura del capcineig i el balanceig del tractor
- Inclímetre per a la mesura de l'angle entre el tractor i l'orkeig
- Sensor d'ultrasons per a la mesura de la profunditat de treball
- Sensor de velocitat angular i parell de la presa de força del tractor

Amb l'equip de posicionament GNSS s'obtenen dues mesures, la posició, que permet situar el tractor en la parcel·la i enregistrar-ne el recorregut, i la velocitat d'avanç, que permet avaluar, juntament amb la component longitudinal de força, la potència necessària per arrossegar l'orkeig. Els inclímetres permeten mesurar la inclinació tant del tractor com de l'orkeig i del dinamòmetre tripuntal per a determinar els angles respecte el terra i entre els diferents components del conjunt tractor-orkeig. El sensor d'ultrasons s'utilitza per mesurar la distància al terra i avaluar les variacions en la profunditat de treball a l'utilitzar el control de càrrega de l'enganxall de tres punts del tractor. Per últim, amb el sensor de velocitat angular i de parell de la presa de força es pot avaluar els requeriments de potència en aquesta.

12.1.1. Equip de posicionament GNSS

L'equip de posicionament GNSS utilitzat és l'antena SMART-AG de NovAtel[®] (Figura 12.1). Aquesta antena permet la recepció de senyals dels sistemes GPS (Global Positioning System, que depèn de l'administració nord-americana) i GLONASS (sistema equivalent al GPS desenvolupat per l'administració russa). En concret disposa de fins a 14 canals d'entrada per a senyals de GPS i 12 canals per a senyals de GLONASS.



Figura 12.1: Equip de posicionament GNSS NovAtel® SMART-AG

Aquest equip, a part de poder funcionar de forma autònoma, permet la utilització de sistemes diferencials de posicionament per augmentar la precisió, coneguts amb l'acrònim DGPS (Differential GPS), i que consisteixen en utilitzar, conjuntament amb aquest equip de posicionament, una estació base on es coneixen amb precisió les seves coordenades geogràfiques. Mitjançant la comparació de la posició de l'estació base i la mesurada amb els satèl·lits es determina l'error en la mesura, i amb aquest es corregeix la posició de l'equip receptor mòbil [86]. Existeixen dos sistemes en funció del tipus d'estació base que s'utilitza. Un sistema és la correcció diferencial en temps real basada en satèl·lit, conegut amb les sigles SBAS (Satellite Based Augmentation System). Aquest sistema està format per una estació base terrestre i un satèl·lit geostacionari associat que envia al receptor mòbil les correccions necessàries per ajustar el càlcul de posició. Amb aquest sistema es pot arribar a desviacions en el posicionament inferiors a 1 m. Un altre sistema és la correcció diferencial cinemàtica en temps real (RTK). Aquest sistema consisteix en utilitzar una estació de referència que es situa a un punt de la parcel·la i que té un abast màxim de 3 a 5 km. Aquesta antena envia senyals de radio al receptor mòbil i permet determinar les posicions relatives respecte a aquesta, amb errors en el posicionament relatiu inferiors a 10 cm.

L'equip de posicionament utilitzat disposa de 2 entrades per a sistemes SBAS. Si s'utilitza el sistema SBAS per a les correccions de posicionament, s'obtenen errors inferiors a 1 m. La velocitat màxima d'adquisició és de 2 mostres/s. També permet la possibilitat d'utilitzar el sistema de posicionament RTK amb un altre receptor fix i mesurar la velocitat d'avanç del vehicle, amb una mesura de velocitat cada 1 s. Aquest equip es comunica amb altres dispositius mitjançant comunicació RS232 o CAN i es programa per tal que retorni les dades que interessa adquirir, amb la freqüència, el format i les correccions adequades. Un resum de les característiques tècniques es mostra a la Taula 12.1.

Taula 12.1: Característiques tècniques de l'equip de posicionament GNSS NovAtel® SMART-AG

Canals	14 GPS, 12 GLONASS i 2 SBAS	
Precisió en posició horitzontal	Autònom	1,2 m
	SBAS	0,8 m
	RT-20	0,2 m
Precisió de velocitat	0,03 m/s	
Readquisició de senyal	0,5 s	
Tensió d'alimentació	de 8 a 36 V CC	
Potència requerida	2,5 W	

12.1.2. Inclínometres per a la mesura dels angles del tractor

Per a la mesura de l'angle de capcineig i l'angle de balanceig del tractor s'utilitza un inclinòmetre de dos eixos. Aquest és l'inclinòmetre electrolític IFM® CR2102 (Figura 12.2). Els inclinòmetres electrolítics o de líquid consisteixen en un tub tancat hermèticament parcialment ple d'un fluid. A l'interior del tub hi ha tres elèctrodes metàl·lics, dos als extrems per a l'aplicació de la tensió i un central per a la mesura de tensió, i mesuren el canvi de la resistència o la de capacítància al canviar la disposició del fluid amb la inclinació. Les característiques tècniques d'aquest inclinòmetre es mostren a la Taula 12.2.



Figura 12.2: Sensor d'inclinació de dos direccions IFM® CR2102

Taula 12.2: Característiques tècniques del sensor d'inclinació IFM® CR2102

Interval de mesura	de -45° a $+45^{\circ}$
Tensió d'alimentació	de 10 a 30 V CC
Corrent de sortida	de 4 a 20 mA
Precisió	$0,5^{\circ}$
Sensibilitat creuada	3%

Per a la mesura dels angles de capcineig i balanceig del tractor ($\theta_{cap,t}$ i $\theta_{bal,t}$ definits a l'Apartat 4.1) sobre un pla horitzontal en el tractor, la fletxa X del sensor (Figura 12.2) s'alinea en la direcció i sentit de l'avanç del tractor. En aquesta disposició, un gir positiu en l'eix x provoca un senyal negatiu en el balanceig, i un gir positiu en l'eix y implica un senyal negatiu del capcineig. Per a la compensació de les desviacions dels senyals per als angles nuls, s'adquiriran els valors de referència d'aquests a l'inici de l'assaig amb el tractor situat en un pla horitzontal. Al programa de tractament de dades de l'inclinòmetre (Apartat 12.2.5.3) es realitzen les operacions pertinents per tal d'obtenir la mesura de l'angle segons el criteri de signes. Tot i no disposar d'informació precisa per part del fabricant sobre els angles realment mesurats, s'ha realitzat una comprovació del seu comportament on, a partir de la definició dels angles exposada a l'Apartat 4.1, en un interval de $\pm 20^{\circ}$ no s'observen desviacions superiors a 1° en la mesura dels angles.

12.1.3. Inclínometre per a la mesura de l'angle del dinamòmetre tripuntal

A un lateral del dinamòmetre per a enganxalls de tres punts s'hi ha instal·lat un inclinòmetre per tal de mesurar l'angle de capcineig del dinamòmetre tripuntal i de

l'ormeig. Aquest és el sensor d'inclinació Penny+Giles® STT 280/60/P2 i utilitza un dispositiu micro-electro-mecànic que mesura la inclinació respecte a la vertical (Figura 12.3). Les característiques tècniques d'aquest inclinòmetre es mostren a la Taula 12.3.



Figura 12.3: Inclinòmetre per a la mesura del capcineig del dinamòmetre tripuntal

Taula 12.3: Característiques tècniques del sensor d'inclinació Penny+Giles® STT 280/60/P2

Interval de mesura	de -60° a +60°
Tensió d'alimentació	de 5 V a 30 V CC
Tensió de sortida	de 0,5 a 4,5 V CC (2,5 V a 0°)
Desviació màxima respecte senyal de sortida	<+1% FS
Error d'histèresis i de repetibilitat	±0,07°
Sensibilitat creuada	<4%

Per a la mesura de l'angle de capcineig del dinamòmetre ($\theta_{cap,d}$, definit a l'Apartat 4.1), la referència del senyal a angle nul es prendrà en la situació on el tractor es troba en un pla horitzontal i el dinamòmetre disposat perfectament vertical en l'enganxall de tres punts del tractor. Aquest sensor està instal·lat de tal forma que en un capcineig relatiu del dinamòmetre positiu el senyal del sensor sigui positiu.

La importància de la mesura d'aquest angle recau en que segons la configuració de les barres de l'enganxall de tres punts i del nivell d'elevació d'aquest, l'angle de capcineig del dinamòmetre tripuntal i de l'ormeig és diferent al del tractor, i afecta a la determinació de les forces d'unió entre els diferents components. Aquesta diferència es manifesta principalment quan el tractor es desplaça amb l'enganxall de tres punts elevat en la situació de transport.

12.1.4. Sensor de profunditat de treball

Al dinamòmetre per a enganxalls de tres punts també s'hi ha instal·lat un sensor d'ultrasons. Aquest sensor s'utilitza com a element per a la mesura de la profunditat de treball. El sensor d'ultrasons utilitzat és el Pepperl+Fuchs® UC2000-30GM-IUR2-V15 i està instal·lat al marc del tractor del dinamòmetre, a la part inferior i orientat cap al terra per tal de mesurar la distància a la que es troba el conjunt del sòl (Figura 12.4).

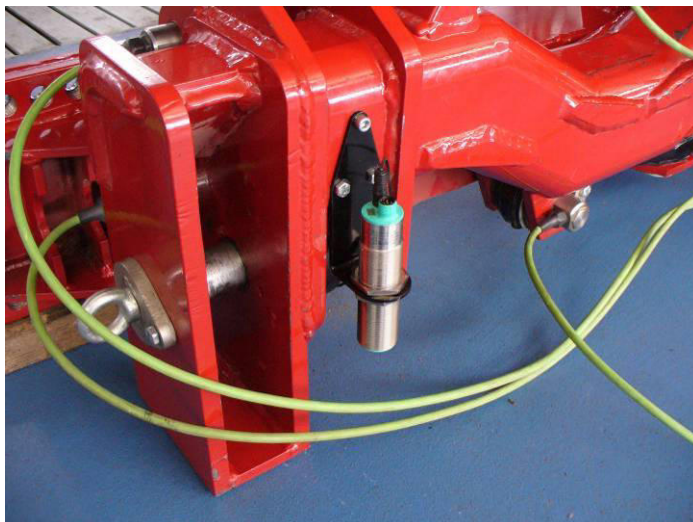


Figura 12.4: Sensor d'ultrasons per a la mesura de la profunditat de treball instal·lat al dinamòmetre tripuntal

Per a la determinació de la profunditat de treball s'haurà d'adquirir la distància de referència amb l'ormeig recolzat a terra sense clavar-se. Amb aquesta dada de referència es pot determinar després la profunditat de treball restant aquest valor amb el valor mesurat durant l'assaig. Les característiques tècniques d'aquest sensor es mostren a la Taula 12.4.

Taula 12.4: Característiques tècniques del sensor d'ultrasons Pepperl+Fuchs® UC2000-30GM-IUR2-V15

Interval de mesura	80 mm a 2000 mm
Àrea estàndard perceptible	100 mm x 100 mm
Freqüència de l'ona emesa	180 kHz aprox.
Temps de resposta	195 ms
Tensió d'alimentació	10 a 30 V CC
Senyal de sortida	Tensió: 0-10 V Corrent: 4-20 mA
Resolució	0,35 mm
Error de linealitat	≤ 0,2% FS
Error de repetibilitat	≤ 0,2% FS

12.1.5. Sensor de parell i velocitat angular per a la presa de força del tractor

El sensor per a la presa de força és un dispositiu que mesura la velocitat angular i el parell de l'eix de la presa de força del tractor (PTO). El sensor utilitzat és el Magtrol® TF 215 (Figura 12.5).

El sensor està format per un element principal que s'instal·la entre l'eix de la presa de força del tractor i l'eix de transmissió a la màquina. Aquest element, d'acer, correspon a la part mòbil del sensor i conté en el seu interior 4 galgues extensomètriques en configuració de pont complet que mesuren el parell, amb tota l'electrònica necessària per al tractament del senyal. Per la part exterior d'aquest element, al llarg de la circumferència, hi ha una banda electromagnètica que actua d'antena per a la

transmissió de les dades i per a l'alimentació elèctrica dels components interiors, mitjançant la comunicació amb un dispositiu fixat a la carcassa del sensor i connectat a un condicionador de senyal.

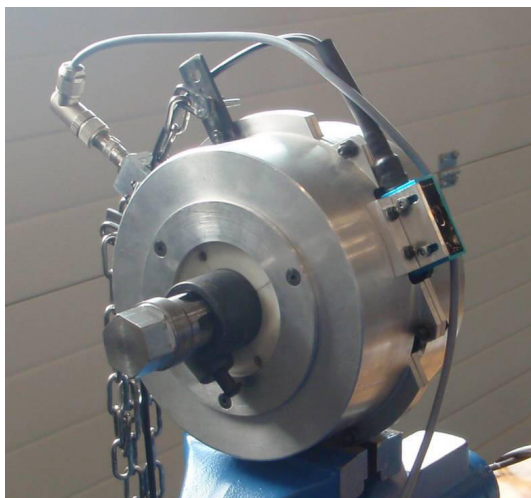


Figura 12.5: Sensor de parell i velocitat de la presa de força

Per a la mesura de la velocitat de rotació s'utilitza un sensor inductiu. A l'element principal mòbil hi ha una zona on hi ha mecanitzades una sèrie de dents, i mitjançant el sensor inductiu fixat a la carcassa es mesura la presència o no d'una dent. Mitjançant la detecció de presència de les dents, es compta el número de dents per segon, i coneixent el nombre total de dents, que és de 113 al llarg de la perifèria de l'element mòbil, es determinen les revolucions per segon de la presa de força. Igual que el dispositiu de mesura del parell, el sensor inductiu també està connectat al condicionador. Aquest element és el que rep l'alimentació externa per al funcionament dels elements i els senyals dels sensors. Els senyals de sortida són de ± 5 V analògic per al parell i polsos de 0-5V per al recompte de les revolucions. La resta de característiques del sensor per a la presa de força es mostren a la Taula 12.5.

Taula 12.5: Taula de característiques del sensor de parell Magtrol TF 215

Parell nominal	1000 N·m
Parell de sobrecàrrega	200% del parell nominal
Velocitat màxima	10000 rpm
Rigidesa a torsió	$2,86 \cdot 10^6$ N·m/rad
Moment d'inèrcia	$1,868 \cdot 10^{-2}$ kg·m ²

12.2. Equipament per a l'adquisició de dades

Per tal d'obtenir les mesures de tots els equips utilitzats en la instrumentació s'ha d'implementar un sistema d'adquisició de dades. Aquest sistema s'encarrega d'adquirir les dades, tractar-les, emmagatzemar-les i visualitzar-les per pantalla durant l'assaig en camp. En aquest apartat es descriuen les funcions i els requeriments que ha de complir el sistema, juntament amb una descripció dels equips utilitzats i les seves característiques. També es descriu tota la programació i la configuració del sistema d'adquisició per a la realització de les tasques esmentades.

12.2.1. Funcions, requeriments i consideracions en els equips utilitzats en l'adquisició

L'objectiu principal de l'equipament per a l'adquisició de dades és adquirir els senyals de cada equip, realitzar els càlculs necessaris per obtenir les magnituds físiques mesurades i guardar les dades tant dels senyals com de les magnituds mesurades en arxius per a tractaments posteriors. També ha de permetre que es visualitzin les dades que s'estan adquirint a l'instant en la pantalla d'un ordinador situat a la cabina del tractor, on també s'hi pugui controlar i gestionar tot el procés en els assajos en camp. L'equip encarregat d'adquirir les dades així com l'ordinador connectat a ell s'han de poder programar per a que realitzin totes aquestes funcions.

Per a l'adquisició de les dades es defineix la freqüència d'adquisició a 10 Hz, que correspon a un valor habitual en desenvolupaments fets per altres investigadors en assajos en camp per a la mesura de forces amb dinamòmetre. Tot i això, aquesta s'ha de poder ajustar depenent del tipus d'assaig que es realitzi.

Amb els senyals adquirits es realitzaran els càlculs necessaris per disposar de les magnituds físiques mesurades, i obtenir la informació bàsica referent a les mesures que es realitzin. El tractament de les dades i càlculs més complexos es realitzaran un cop finalitzat l'assaig en camp. Així, per al cas del dinamòmetre tripuntal, els càlculs de les forces als punts d'unió de l'enganxall de tres punts del tractor o de l'ormeig, que requereix la resolució d'un sistema d'equacions lineal, es realitzaran en el tractament posterior als assajos en camp. També altres càlculs, com la potència en l'accionament de l'ormeig, es contempla que es realitzin un cop finalitzats els assajos.

L'emmagatzematge de les dades tant dels senyals com de les magnituds mesurades es realitzarà a l'ordinador. S'elegeix l'ordinador i no el propi equip d'adquisició perquè els requeriments de velocitat en l'adquisició no són determinants i l'ordinador ofereix més capacitat d'emmagatzematge, i a més facilita la manipulació dels fitxers de dades. La visualització de les magnituds mesurades es realitzarà a l'ordinador portàtil durant tot el procés. La interfície de visualització ha de permetre visualitzar fàcilment i de forma ràpida qualsevol de les dades mesurades (mitjançant indicadors, ja siguin d'agulles, numèrics o gràfics) per comprovar en tot moment el correcte funcionament de tots els equips. També aquesta interfície gràfica ha de controlar l'inici i finalització de l'assaig, així com la selecció dels equips utilitzats.

L'equip d'adquisició de dades, tot i que s'instal·larà a la cabina del tractor durant els assajos en camp, es necessari que estigui protegit dels impactes i la brutícia, i per això s'instal·larà en una caixa de protecció. També s'hi han de poder instal·lar i connectar fàcilment tots els sensors mitjançant connectors entre els sensors i l'equip d'adquisició.

És necessari també que aquest equip d'adquisició de dades sigui capaç d'enregistrar diferents tipus de senyals d'entrada. Els sensors i equips utilitzats en aquesta tesi per als assajos en camp tenen senyals d'entrada molt diversos, des de senyals de tensió i d'intensitat, tant analògics com digitals. Per això es vol que aquest equip sigui modular (que s'hi puguin instal·lar diverses targetes d'entrada de senyal) per adaptar-se a aquests sensors i equips tant variats. Per últim, també es busca que aquest equip sigui fàcilment adaptable i ampliable a la utilització de nous sensors per als assajos en camp.

Per presentar els requeriments per a cada sensor i equip, a la Taula 12.6 es mostren per a cada un d'ells els tipus de senyal, les magnituds a mesurar i el mode en que es visualitzaran en la pantalla de l'ordinador.

Taula 12.6: Resum dels requeriments en els senyals d'entrada, les magnituds a mesurar i el mode de visualització en pantalla

Equip	Senyal d'entrada	Magnituds a mesurar	Visualització en pantalla
Dinamòmetre tripuntal	Analògic tensió en mV/V ($S_1, S_2, S_3, S_4, S_5, S_6$)	Forces en bolons de mesura (F_1, F_2, F_3, F_4, F_5 i F_6)	Indicadors numèrics
		Torsor d'enllaç a l'ormeig ($F_{x,i}, F_{y,i}, F_{z,i}, M_{x,i}, M_{y,i}$ i $M_{z,i}$)	Indicadors numèrics Indicadors d'agulla
Enganxalls dinamomètrics	Analògic tensió en mV/V (S_A, S_B, S_C, S_D)	Forces punt d'unió enganxall (F_x, F_y i F_z)	Indicadors numèrics Indicadors d'agulla
Equip GNSS	Comunicació port sèrie RS232	Posició en coordenades UTM	Indicadors numèrics Gràfic de trajectòria
		Velocitat d'avanç	Indicadors numèrics Indicadors d'agulla
Inclinòmetre tractor	Analògic intensitat 4-20 mA	Angle capcineig tractor ($\theta_{cap,t}$)	Indicadors d'agulla
		Angle balanceig tractor ($\theta_{bal,t}$)	
Inclinòmetre din. tripuntal	Analògic tensió 0-5 V	Angle capcineig din. tripuntal ($\theta_{cap,d}$)	Indicadors d'agulla
Sensor profunditat	Analògic tensió 0-10 V	Profunditat de treball	Gràfic en funció del temps
Sensor de parell i velocitat PTO	Analògic tensió ± 5 V	Parell PTO	Gràfics en funció del temps
	Digital tensió 0-5 V	Velocitat angular PTO	
		Potència PTO	

12.2.2. Equip d'adquisició de dades

Per a l'adquisició i el processament de les dades s'utilitza el controlador lògic programable cRIO 9022 de National Instruments® (Figura 12.6). Aquest és un controlador de construcció robusta, amb un processador de 533 MHz, 256 MB de memòria dinàmica i 2 GB de memòria per a l'enregistrament de dades. Disposa de dos ports Ethernet, un port sèrie RS232 i un port USB (Universal Serial Bus). La tensió d'alimentació ha d'estar entre 9 i 35 V CC amb un consum aproximat de 35 W. Aquest equip és un controlador per a l'adquisició de dades i el control de processos i es programa mitjançant el software LabVIEW®, que és una plataforma per a la programació en format gràfic mitjançant blocs.

Una de les principals característiques d'aquest controlador és que pot realitzar tasques en temps real. Això vol dir que es garanteix que les tasques s'executin en els temps

establerts i sense retard. Aquests tipus d'operació és interessant en l'adquisició de dades o el control de processos on s'han de garantir períodes de temps reduïts i estables.

Aquest controlador porta connectat un xassís on s'hi insereixen diferents mòduls per a les diferents entrades i sortides requerides en l'aplicació. Aquest xassís és el cRIO 9114, que disposa d'una targeta FPGA (Field-Programmable Gate Array) que realitza les tasques de lectura i escriptura entre les targetes d'adquisició i el controlador, amb la possibilitat de poder-la programar per a aplicacions que requereixen alta freqüència d'adquisició (Figura 12.7).



Figura 12.6: Controlador NI cRIO 9022



Figura 12.7: Xassís NI cRIO 9114

12.2.3. Targetes d'adquisició de dades

A l'equip d'adquisició de dades s'hi connecten un conjunt de mòduls o targetes per als diferents equips i sensors (Figura 12.8). A continuació es descriuen els que s'han utilitzat per a l'implementació dels sensors per als assajos en camp.



Figura 12.8: Mòduls d'adquisició de dades utilitzats. D'esquerra a dreta: Targeta NI 9237 per a connexions en pont, targeta NI 9203 per entrades analògiques de $\pm 20\text{mA}$, targeta NI 9201 per entrades analògiques $\pm 10\text{V}$ i targeta NI 9422 per a entrades digitals

Targeta NI 9237 per a cèl·lules de càrrega

Per al dinamòmetre per a enganxalls de tres punts i per als enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats s'utilitzen dos targetes NI 9237. Aquests mòduls estan especialment dissenyats per a connectar-hi cèl·lules de càrrega i sensors basats en ponts de mesura amb galgues extensomètriques.

Les característiques principals d'aquesta targeta són que disposa de 4 canals, amb una resolució de 24 bits, un interval de senyal d'entrada de $\pm 25\text{mV/V}$ i una velocitat

d'adquisició màxima de 50 kS/s a cada canal. Aquesta targeta permet tant la connexió de mitjos ponts com de ponts complets, i permet alimentar-los amb diferents tensions d'excitació fins a un màxim de 10V CC. A la part inferior de la targeta hi ha un connector per poder-la alimentar en els casos on s'utilitzin ponts de mesura que requereixen una potència d'excitació superior a 150 mW.

La targeta permet corregir els problemes en les mesures dels senyals creats per les fluctuacions del voltatge d'alimentació i les resistències del cable. Per a la compensació de l'efecte de la caiguda de tensió en els cables d'alimentació es disposa de dos pins al connector de la targeta que permeten mesurar el valor de tensió directament als punts d'alimentació del pont de mesura.

Targeta NI 9203 per a entrades analògiques d'intensitat

La targeta NI 9203 és una targeta d'entrades analògiques d'intensitat. S'utilitza per a l'adquisició dels dos senyals de l'inclinòmetre bidireccional per a la mesura dels angles de capcineig i de balanceig del tractor. Disposa de 8 canals, amb entrades de ± 20 mA, una velocitat d'adquisició màxima de 200 kS/s i una resolució de 16 bits.

Targeta NI 9201 per a entrades analògiques de tensió

La targeta NI 9201 és una targeta d'entrades analògiques de tensió. En aquesta targeta s'hi adquireix el senyal del sensor d'ultrasons per a la mesura de la profunditat de treball, el senyal corresponent al parell del sensor per a la presa de força i el senyal de l'inclinòmetre del dinamòmetre tripuntal. Disposa de 8 canals per una tensió d'entrada de ± 10 V, una velocitat màxima d'adquisició de 500 kS/s i una resolució de 12 bits.

Targeta NI 9422 per a entrades digitals

La targeta NI 9422 és la targeta d'entrades digitals utilitzada per al comptador de revolucions del sensor de la presa de força. Disposa de 8 canals d'entrada, amb un període de mostreig de 250 μ s i amb un nivell de tensió de 24 a 60 V, dels quals de 0 a 5 V correspon a una entrada 0 i de 11 a 60 V correspon a una entrada 1. La targeta es programa com a comptador de polsos de tal forma que a cada cicle d'escaneig del programa d'adquisició de dades la targeta retorna el nombre de polsos comptats durant el cicle.

A la Figura 12.9 es mostra un diagrama de com es connecten el diferents sensors amb l'equip d'adquisició de dades.

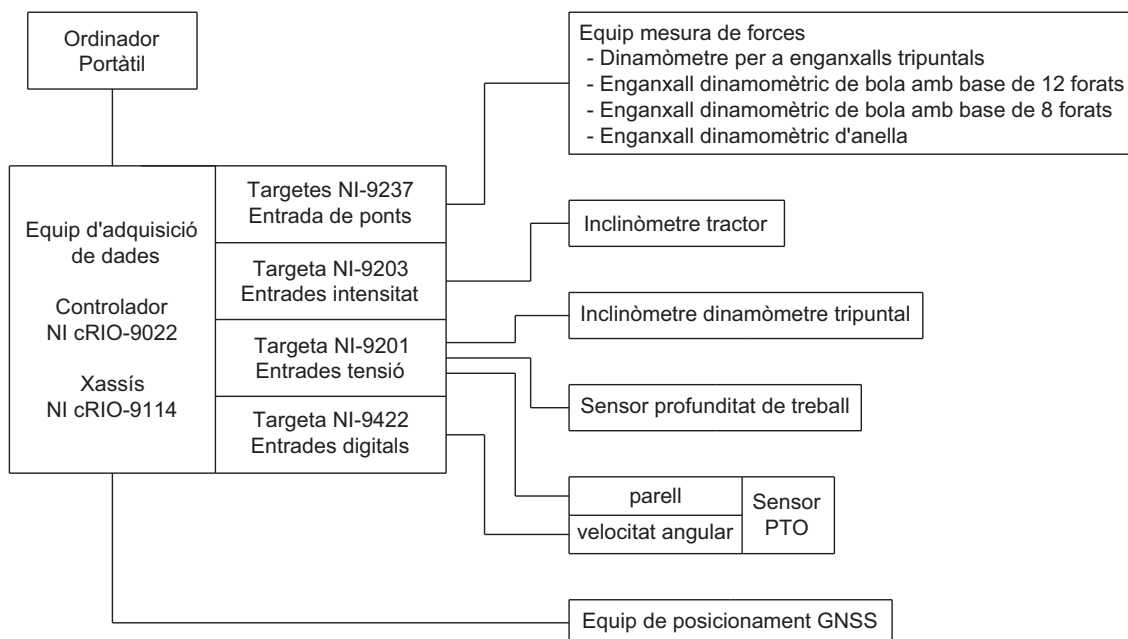


Figura 12.9: Esquema del conjunt de sensors i equips per a l'adquisició de dades

12.2.4. Caixa de connexions

L'equip d'adquisició de dades va situat a l'interior d'una caixa per protegir-lo en els assajos en camp (Figura 12.10 i Figura 12.11). Donat que aquesta caixa s'haurà de posar a la cabina del tractor, s'ha fet un muntatge utilitzant una caixa el més petita possible. Les dimensions de la caixa són de 300 mm de llarg, 210 mm d'ample i 160 mm l'alçada.

Dins de la caixa de connexions, a part del controlador, hi ha els elements necessaris per al correcte funcionament dels sensors i l'equip d'adquisició de dades. A continuació es descriuen aquests elements.



Figura 12.10: Vista exterior de la caixa de connexions

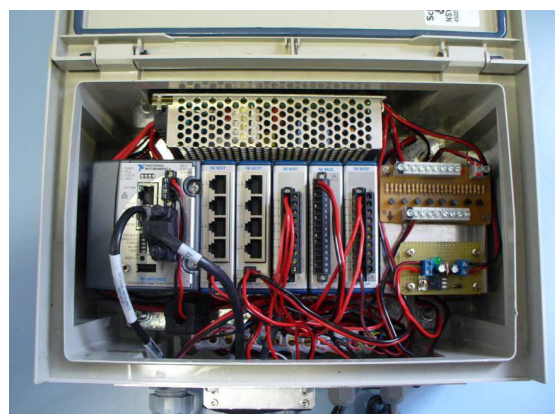


Figura 12.11: Vista interior de la caixa de connexions

Font d'alimentació

La potència subministrada per la bateria del tractor, a 13 V CC aproximadament, es converteix a 24 V CC amb la font d'alimentació, que és a la tensió que treballen tant

l'equip d'adquisició de dades com la majoria dels sensors utilitzats. Aquesta font d'alimentació també s'encarrega de filtrar les variacions de tensió obtenint a la sortida de la font una tensió estabilitzada adequada per al correcte funcionament de tots els equips electrònics.

Estabilitzador de tensió per als bolons de mesura del dinamòmetre tripuntal

Per a l'alimentació dels bolons de mesura del dinamòmetre tripuntal és necessària una tensió de 10 V CC. Donat que les targetes NI 9237 on es connecten els bolons de mesura no poden subministrar suficient potència per a tot el conjunt de cèl·lules de càrrega, s'ha utilitzat una targeta estabilitzadora de tensió per a subministrar aquesta potència. Aquesta targeta, a partir de la tensió de la bateria a 13 V, redueix la tensió a 10 V de forma estabilitzada i la sortida d'aquesta es connecta a les entrades d'alimentació de les dues targetes NI 9237. Aquesta targeta només s'utilitza per al dinamòmetre tripuntal, ja que per als enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats la tensió d'alimentació dels ponts és de 5 V i les targetes d'adquisició de dades sí poden subministrar tota la potència necessària.

Targeta amplificadora de polsos del comptador de revolucions de la presa de força

El sensor inductiu encarregat de comptar els polsos per tal de determinar les revolucions de la presa de força del tractor subministra un senyal de polsos de 0-5 V CC. Donat que la targeta d'entrades digitals NI 9422 requereix d'una entrada de 0-24 V CC, s'utilitza aquesta targeta que permet amplificar el senyal.

Connectors per als diferents sensors

Per al pas dels cables de connexió dels equips i sensors a través de la caixa de connexions s'ha creat una xapa on s'hi han realitzat diferents forats per als cables i per fixar-los mitjançant premsaestopes. També s'ha realitzat un pas per als cables on no es podia utilitzar un premsaestopa amb un sistema de fixació dels cables mitjançant cargols i unes platines. Per aquest espai hi poden passar els cables de l'equip GNSS, els cables del dinamòmetre tripuntal o els cables dels enganxalls dinamomètrics.

Ordinador portàtil

Per tal de visualitzar al moment els resultats obtinguts durant l'assaig en camp s'utilitza un ordinador portàtil a la cabina del tractor. Aquest portàtil està connectat mitjançant un cable de xarxa al controlador programable cRIO 9022. Aquest ordinador també s'utilitza per donar les ordres d'inici i parada d'adquisició així com la introducció de certes variables per al processament de les dades, a més de rebre les dades del controlador per guardar-les en arxius.

12.2.5. Programació de l'equipament per a l'adquisició i el tractament de dades

En aquest apartat es descriu tot el conjunt de programes desenvolupats amb LabVIEW® per a l'adquisició, el processament, l'emmagatzematge i la visualització en pantalla de les dades obtingudes pels diferents sensors durant un assaig en camp. Es descriuen les

característiques i l'estructura de tota la programació, juntament amb tots els subprogrames utilitzats per a les diferents tasques i equips.

12.2.5.1. Descripció del programa principal

Per a descriure el programa desenvolupat cal distingir primerament entre les funcions del controlador o equip per a l'adquisició de dades i les funcions de l'ordinador. La funció principal de l'ordinador és fer d'interfície gràfica per a l'usuari. Mitjançant l'ordinador es poden ajustar els paràmetres per al control del sistema i es pot visualitzar la informació que enregistren i processen els diferents equips del sistema. A més, en el sistema desenvolupat, l'ordinador realitza la funció d'emmagatzematge en disc de les dades que es van enregistrant. El controlador, amb les corresponents targetes d'adquisició de dades, s'encarrega d'adquirir els senyals dels sensors i realitzar els càlculs oportuns. A la Figura 12.12 es mostra un esquema dels diferents programes i subprogrames que s'executen tant a l'ordinador com al controlador amb les tasques que realitzen.

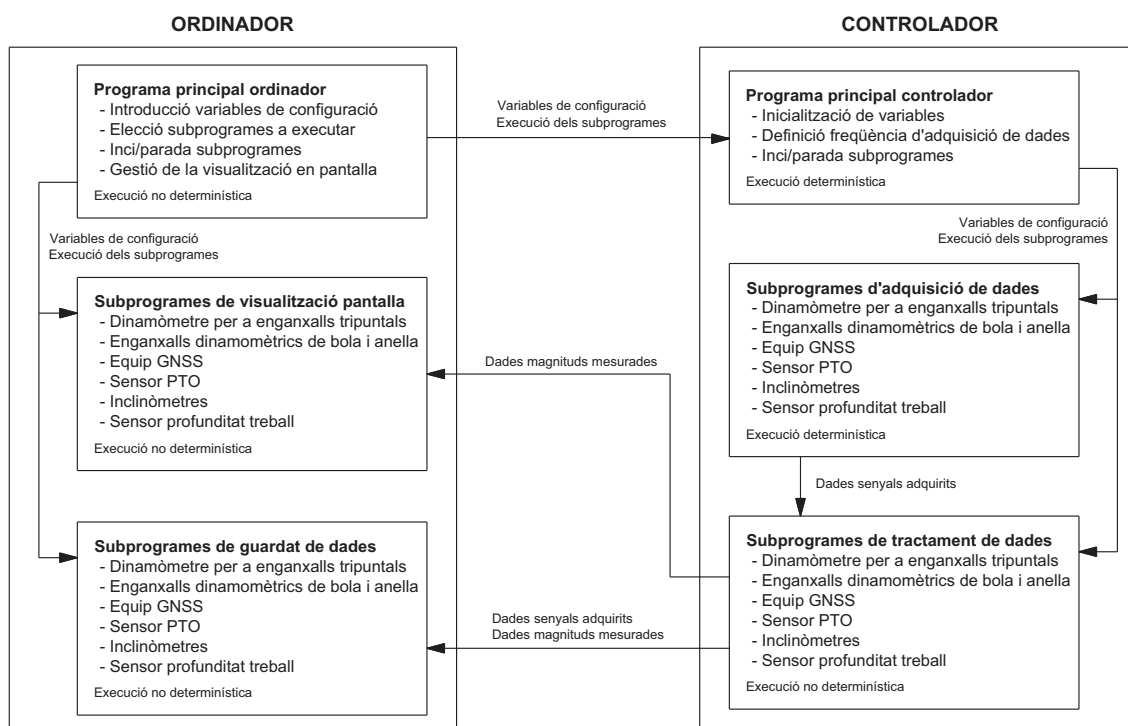


Figura 12.12: Estructura del programa desenvolupat per a la realització d'assajos en camp

Existeix per a cada element o conjunt de sensors un subprograma per a l'adquisició dels senyals, un subprograma per al tractament dels senyals per obtenir les magnituds a mesurar, un subprograma per a la visualització de les mesures en pantalla i un subprograma per al guardat de totes les dades adquirides i processades. Així existeixen un total de 4 subprogrames per a cada un dels equips o sensors utilitzats. Aquests són un conjunt de subprogrames per al dinamòmetre tripuntal, un altre per als enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats, un altre per a l'equip de posicionament GNSS, un altre per al sensor de velocitat i parell per a la presa de força, un altre per a tots els inclínometres utilitzats i finalment un altre per al sensor de profunditat de treball.

Per al control de tot el sistema d'adquisició de dades s'ha creat un programa principal que s'executa a l'ordinador i un altre que s'executa a l'equip d'adquisició de dades. Les funcions detallades de cada programa es descriuen a continuació.

Programa principal de l'ordinador

A la interfície del programa principal de l'ordinador, es seleccionen quins són els equips que intervenen en l'assaig, des del dinamòmetre tripuntal o els enganxalls dinamomètrics per a equips remolcats, fins al l'equip GNSS, el sensor de presa de força, els inclinòmetres o el sensor de profunditat. També hi ha els controls per introduir les dades necessàries per al correcte funcionament de la resta de subprogrames, com el selector del tipus d'enganxall dinamomètric per a ormejos remolcats utilitzat, així com els botons d'inici i parada de l'adquisició. Durant el procés d'adquisició es pot navegar per la interfície seleccionant diferents finestres, on a cada una es visualitzen les dades adquirides per a cada equip. Aquestes es descriuen en detall a l'Apartat 12.2.5.5.

Programa principal del controlador

El controlador disposa d'una memòria interna, que permet la lectura i escriptura de les diverses variables que intervenen en els subprogrames i permet la comunicació entre ells. Aquestes variables es defineixen a la memòria del controlador, on s'indica el tipus de variable (valor numèric, matriu, cadena de caràcters, etc.) i també el tipus de comunicació on intervenen (comunicació interna del controlador o comunicació en xarxa entre el controlador i l'ordinador).

En executar el programa principal del controlador, primerament s'inicialitzen els valors per defecte de totes i cada una de les variables en la memòria del controlador que intervenen en les comunicacions entre subprogrames. Un cop es rep l'ordre d'iniciar l'adquisició per part de l'usuari, s'executen cada un dels programes d'adquisició i tractament dels equips seleccionats a la interfície del programa principal de l'ordinador.

Modes d'execució dels programes

La separació en diferents subprogrames es deguda a les prioritats a l'hora d'executar cada una de les parts. Així el subprograma principal del controlador i cada subprograma d'adquisició de dades s'executa en una iteració determinística, dit també que s'executen en temps real [103]. Al programar iteracions de tipus determinístic es garanteix que la iteració s'executa sempre i que finalitza en el temps especificat sense retard entre cicles successius (aquest temps definit en mil·lisegons). Aquestes iteracions tenen prioritat sobre la resta de les iteracions no determinístiques. En el cas dels programes d'adquisició interessa disposar de les dades cada cert interval de temps fix i sense variacions. En canvi en el processament de dades, donat que ja s'ha enregistrat conjuntament amb el senyal d'entrada l'instant de temps de la mesura, no és crític que l'execució del programa de tractament es desviï alguns mil·lisegons en alguna de les iteracions.

Per al cas de l'ordinador, els programes que s'hi executen són sempre no determinístics, ja que el sistema operatiu de l'ordinador és en si mateix no-determinístic, i conjuntament amb l'execució corresponent dels programes principal, de visualització i de guardat de dades, també estan en execució altres aplicacions de l'ordinador. Donats

els intervals de temps requerits en execució dels diferents programes, existeix un retard entre l'adquisició i la visualització de les dades en pantalla. Aquest retard entre l'adquisició i la visualització per pantalla no supera els 250 ms, pràcticament inapreciable per a l'operari que visualitza les dades durant l'adquisició.

12.2.5.2. Subprogrames d'adquisició de dades

Els subprogrames d'adquisició realitzen la tasca d'adquirir cada un dels senyals de les diferents targetes de mesura, juntament amb l'instant de temps de l'adquisició, per al seu posterior tractament i emmagatzematge. L'execució d'aquests programes és determinística per tal de garantir un interval de temps fix i constant entre els diferents cicles d'adquisició. Com a excepció a aquest determinisme hi ha el programa d'adquisició de dades de l'equip GNSS ja que la comunicació RS232 és en si mateixa no determinística, tot i que les proves realitzades han comprovat que la comunicació és prou ràpida evitant diferències significatives entre adquisicions successives.

L'estructura i el principi de funcionament dels subprogrames d'adquisició de dades dels inclinòmetres, del sensor de presa de força i del sensor de profunditat de treball és equivalent al del dinamòmetre tripuntal i dels enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats. Aquests subprogrames reben les lectures de tots els senyals a cada cicle d'execució del rellotge intern del processador, definit en 100 ms (Figura 12.13).

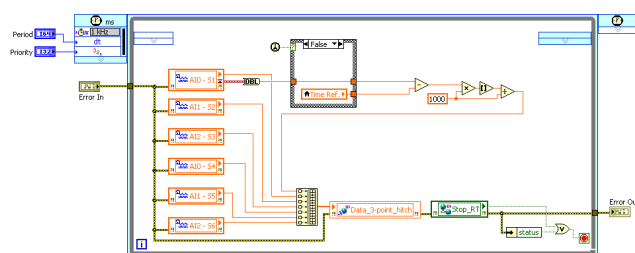


Figura 12.13: Subprograma d'adquisició de dades per al dinamòmetre tripuntal

A la primera execució es pren el valor de temps d'inici i s'agafa de referència, i a la resta d'iteracions es calcula la diferència del temps respecte a la referència per disposar del valor de temps en segons respecte a l'inici de l'assaig. La dada de temps així com tots els senyals s'escriuen en una variable compartida a la memòria per a que estigui disponible per al corresponent subprograma de tractament de dades.

El cas de l'adquisició de dades de l'equip GNSS és lleugerament diferent a la de la resta d'equips ja que aquest es comunica amb l'equip d'adquisició de dades mitjançant el port sèrie RS232 (Figura 12.14). El mateix programa d'adquisició s'encarrega d'inicialitzar la connexió amb l'equip, establint els paràmetres per a la realització de la connexió i enviant les instruccions (en format cadena de caràcters) a l'equip GNSS. Aquestes instruccions sol·liciten a l'equip que envii la posició en coordenades en format UTM cada segon i que retorni els valors de velocitat cada segon.

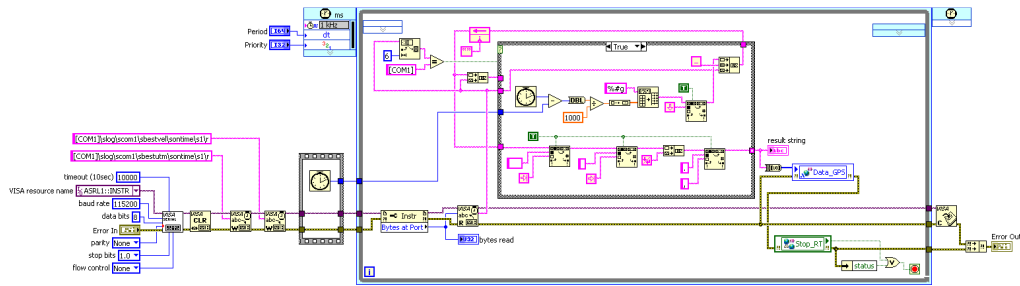


Figura 12.14: Subprograma d'adquisició de dades de l'equip GNSS

Cada segon l'equip GNSS envia dues cadenes de caràcters a l'equip d'adquisició, una correspon a les dades de posició i l'altra a les dades de velocitat. Aquestes cadenes de caràcters consisteixen en un encapçalament que indica el tipus de resposta seguida per la informació separada per tabulacions. Es realitza un tractament previ de les dades llegides per tal de separar cada cadena de caràcters, poder-les posteriorment guardar en un arxiu i que el programa de tractament les pugui utilitzar.

12.2.5.3. Subprogrames de tractament de dades

Un cop adquirits els senyals dels sensors, aquests passen als diferents programes de tractament de les dades. El procés de tractament de dades consisteix en llegir les dades subministrades pel cicle determinístic d'adquisició i calcular les diferents magnituds a mesurar utilitzant les equacions corresponents. A més, cada 10 iteracions (corresponent a 1 s per a la freqüència d'adquisició establerta de 10 Hz) es realitza un altre càlcul que consisteix en prendre els 10 últims valors de les magnituds mesurades i determinar-ne el valor mig, el màxim i el mínim (exceptuant el cas de l'equip GNSS). Aquesta operació es realitza per facilitar el posterior tractament de les dades un cop finalitzat l'assaig i facilitar-ne la visualització en pantalla. En els casos on es requereix d'una compensació del senyal a l'inici de l'assaig, mitjançant un control en forma de botó a la pantalla de visualització es pot establir els senyals de l'instant com a referència.

El programa de tractament de les dades del dinamòmetre tripuntal (Figura 12.15 i Figura 12.16) converteix els senyals dels bolons de mesura del dinamòmetre tripuntal en els corresponents valors de força, i a més es calcula el torsor d'enllaç a l'ormeig. En la 1a part del programa (Figura 12.15), per a cada mostra es determinen les forces als bolons de mesura segons els models d'ajust experimental, determinats a l'Apartat 7.3.1. A la 2a part (Figura 12.16), a partir dels senyals es calculen les components del torsor d'enllaç a l'ormeig segons el model d'ajust experimental 3 (Apartat 7.3.3).

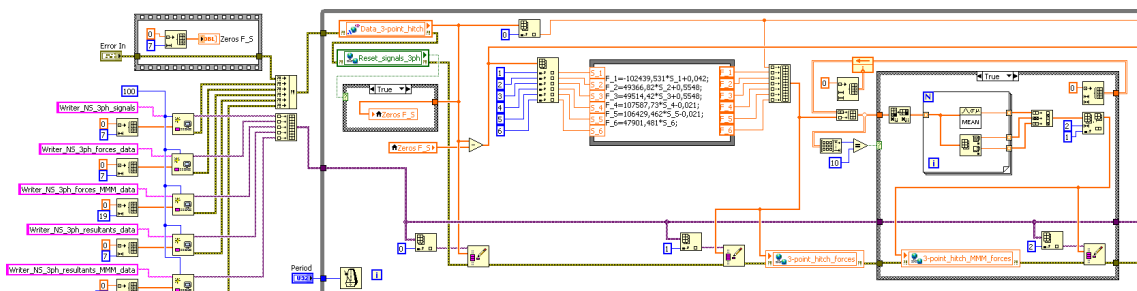


Figura 12.15: Subprograma de tractament de dades per al dinamòmetre tripuntal (part 1)

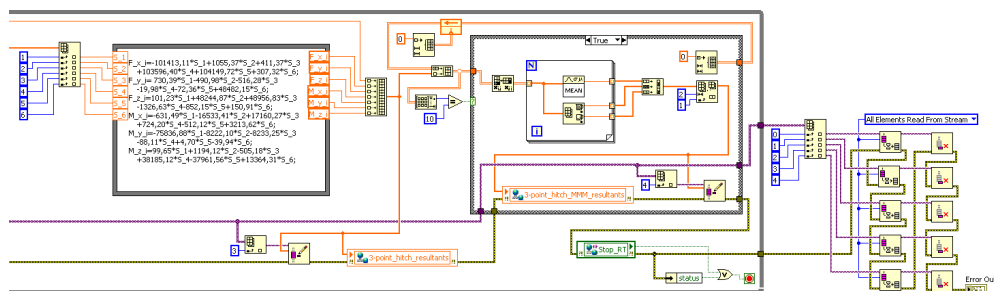


Figura 12.16: Subprograma de tractament de dades per al dinamòmetre tripuntal (part 2)

El programa per al tractament de les dades dels enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats calcula les components de força al punt d'unió de l'enganxall a partir dels senyals dels ponts de mesura (Figura 12.17). El model per a la determinació de les components de força utilitzat correspon al model d'ajust experimental 3, descrit a l'Apartat 11.2.3. El programa selecciona el model a utilitzar depenent del tipus d'enganxall dinamomètric escollit a la interfície del programa principal.

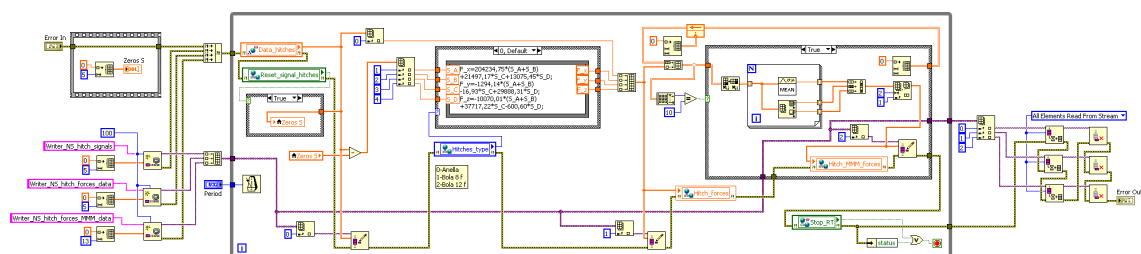


Figura 12.17: Subprograma de tractament de dades per als enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats

El subprograma d'adquisició de dades de l'equip GNSS s'encarrega de tractar la informació obtinguda de les cadenes de caràcters que envia aquest equip (Figura 12.18). A partir de l'encapçalament de la cadena de caràcters es determina si es tracta d'una resposta de posició o de velocitat. Si el missatge correspon a la informació sobre posició, s'extreuen les dades de l'instant de temps i el nord, l'est i l'altura en coordenades UTM, segons les indicacions disponibles al manual de l'equip. Si el missatge correspon a una resposta de velocitat s'extreuen de la cadena de caràcters els valors de l'instant de temps, la velocitat d'avanç horitzontal, la velocitat vertical i la direcció d'avanç respecte al nord.

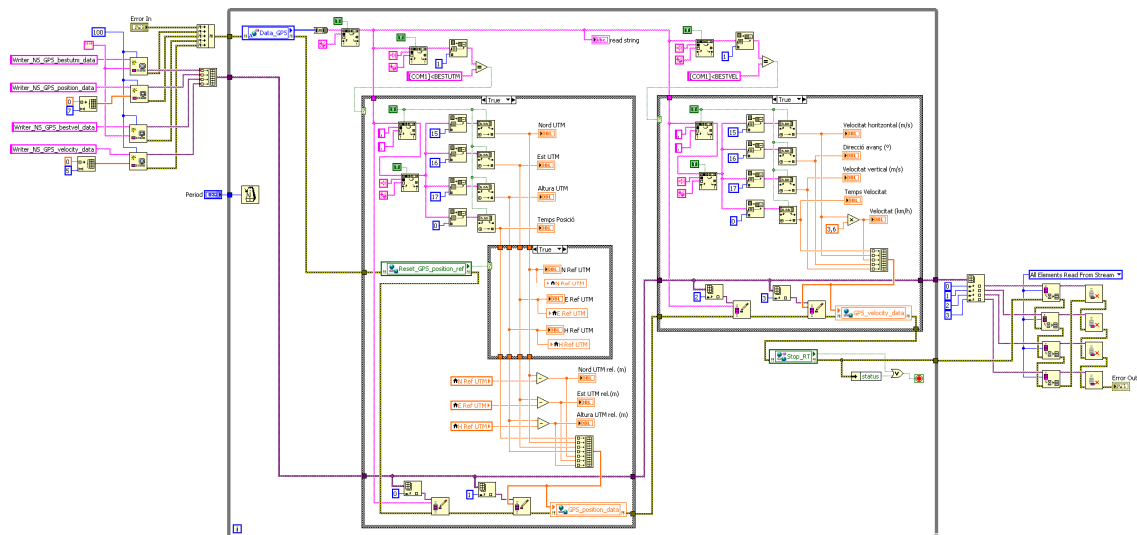


Figura 12.18: Subprograma de tractament de dades per a l'equip GNSS

Amb el subprograma dels inclinòmetres es calculen els angles per al capcineig del tractor, el balanceig del tractor i el capcineig del dinamòmetre tripuntal a partir dels senyals dels inclinòmetres. El programa de tractament de dades del sensor d'ultrasons utilitza el senyal del sensor per calcular la distància d'aquest al terra, i amb el corresponent botó a la pantalla de visualització de dades, es permet adquirir la distància de referència per al càlcul de la profunditat de treball.

Per al tractament de les dades del sensor per a la presa de força del tractor s'utilitza el senyal corresponent al parell i a la dada corresponent del comptador de polsos. Amb el valor del comptador del cicle anterior i amb el valor del cicle actual es calculen el número de polsos corresponents al cicle d'escaneig, i el mateix es fa amb la dada de temps, per tal de poder calcular la velocitat angular de la presa de força. A partir del senyal del sensor de parell es fa la conversió per obtenir la magnitud d'aquest, i amb les dades de parell i velocitat angular es calcula la potència a la presa de força del tractor (Figura 12.19).

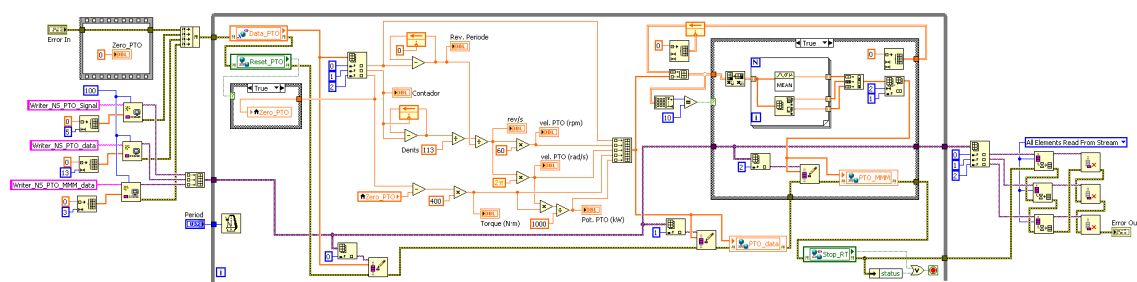


Figura 12.19: Subprograma de tractament de dades del sensor de la presa de força

12.2.5.4. Subprogrames de guardat de dades

Els programes de guardat de dades s'encarreguen d'escriure en un fitxer de text les dades provinents dels programes de tractament (Figura 12.20). Aquest fitxer posteriorment es pot obrir fàcilment amb qualsevol programa per al tractament de dades. Abans d'iniciar l'escriptura es creen els arxius on es guardaran les dades en un directori predefinit, i amb el corresponent nom de l'arxiu que conté el dia i hora de

creació. També es crea l'encapçalament de la taula per a la posterior identificació de les dades en l'arxiu. Ja dins de la iteració es llegeixen les variables escrites pels programes de tractament de dades i s'escriuen als diferents arxius.

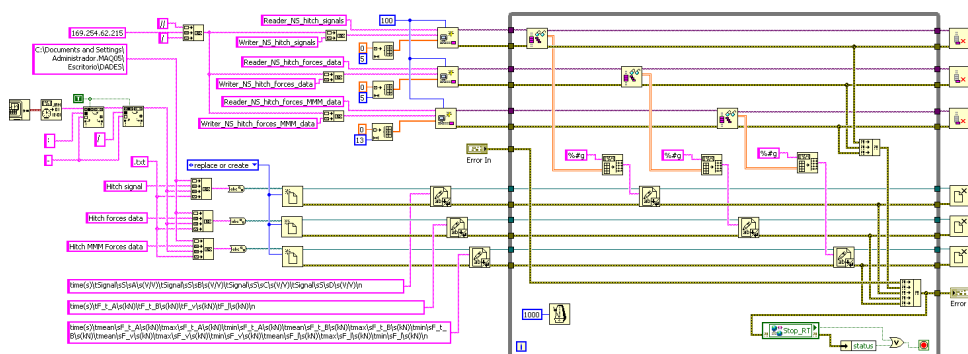


Figura 12.20: Subprograma de guardat de dades per al cas dels enganxalls dinàmics

12.2.5.5. Subprogrames de visualització en pantalla

Els subprogrames de visualització en pantalla s'encarreguen de gestionar la visualització de les dades de forma adequada, per a que l'operari pugui controlar el correcte funcionament de cada un dels sensors i visualitzar els valors de les magnituds mesurades. Aquests subprogrames disposen d'indicadors, ja siguin d'agulles, numèrics o gràfics, per a visualitzar les dades que es van adquirint durant l'assaig. A més, cada subprograma disposa de diferents controls per a poder actuar sobre les dades adquirides, com són els casos dels botons que permeten adquirir els senyals de referència a l'inici de l'assaig per a la compensació de les desviacions en els senyals i ajustar la magnitud de mesura.

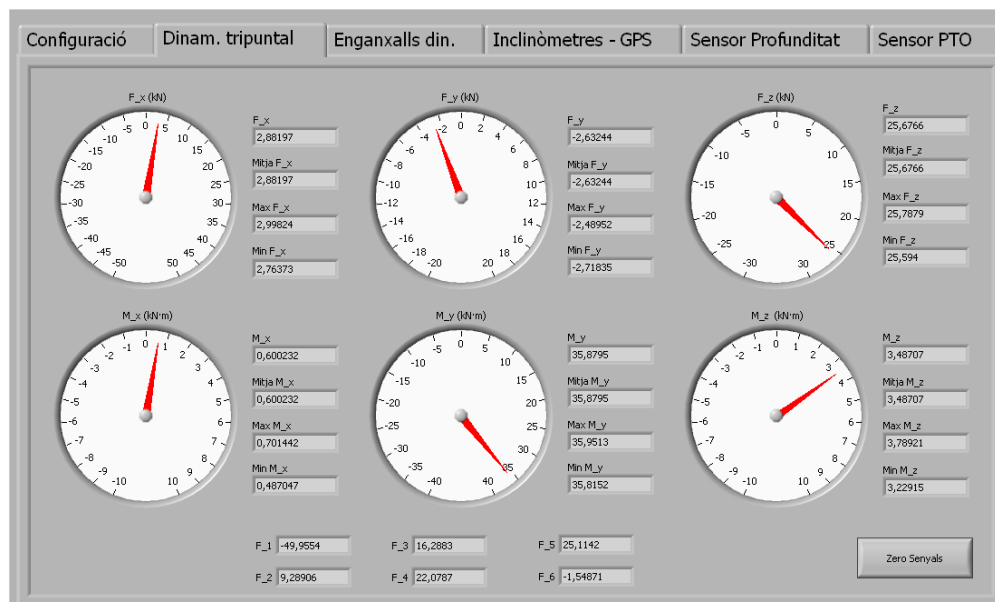


Figura 12.21: Imatge de la pantalla de visualització per al dinamòmetre tripuntal

Així, per al cas del subprograma de visualització per al dinamòmetre per a enganxalls tripuntals (Figura 12.21), es disposen de 6 indicadors d'agulla que indiquen el valor de les components del torsor d'enllaç mesurat a l'ormeig. A més, mitjançant indicadors

numèrics, es mostren els valors màxims, mínims i mitjos del segon anterior. També, mitjançant indicadors numèrics es mostren les forces mesurades per cada un dels 6 bolons de mesura. Per al cas dels enganxalls dinamomètrics per a ormejos remolcats la interfície de visualització és equivalent a la del cas anterior, on es mostren en pantalla els 3 indicadors d'agulla de les 3 components de força al punt d'unió, amb les corresponents mesures de màxim, mínim i mitja del segon anterior.

Per al subprograma de visualització de les dades de l'equip GNSS es mostra un gràfic del recorregut que segueix el conjunt tractor-ormeig (Figura 12.22). Per facilitar la visualització, s'utilitza un botó per a prendre la posició de l'instant com a origen de referència i d'un altre per poder inicialitzar el recorregut mostrat en el gràfic. Mitjançant un indicador d'agulla es mostra la velocitat d'avanç del conjunt tractor-ormeig mesurada per l'equip GNSS.

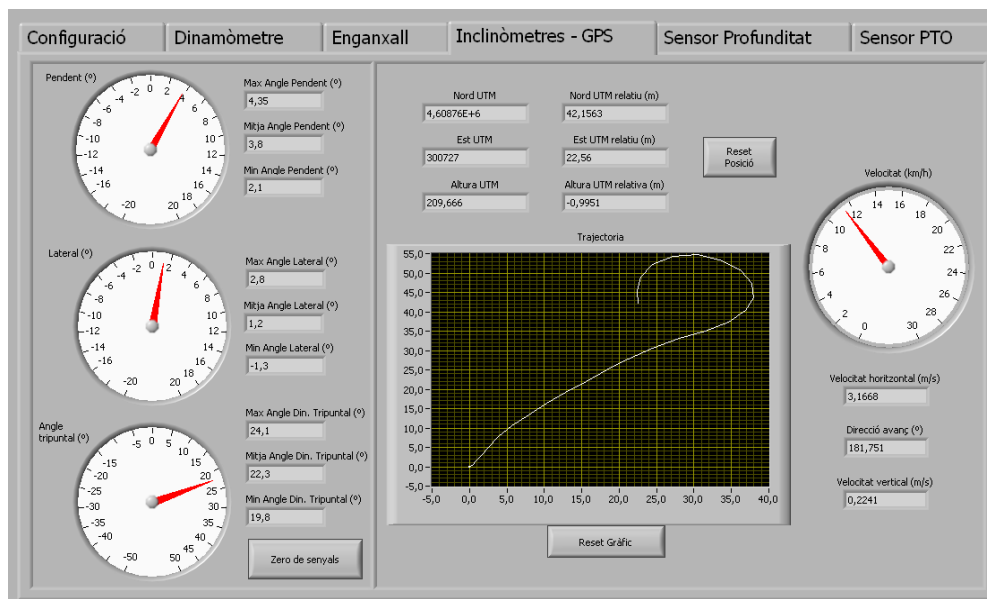


Figura 12.22: Imatge de la pantalla de visualització per als inclinòmetres i per a l'equip GNSS

Per al subprograma de visualització dels inclinòmetres es presenten els valors d'angle mesurats mitjançant indicadors d'agulla (Figura 12.22). Per al programa de la presa de força es visualitzen tres gràfics per mostrar l'evolució del parell, la velocitat angular i la potència. Per al cas del sensor de profunditat de treball també es mostra aquesta mesura en forma de gràfic.

13. ASSAJOS EXPERIMENTALS EN CAMP

En aquest capítol es presenten el conjunt de proves experimentals en camp amb diferents ormejos que s'han realitzat durant el període de desenvolupament d'aquesta tesi. S'han realitzat tres assajos en camp amb el dinamòmetre per a enganxalls tripuntals amb diferents ormejos, corresponents a un cultivador de cisells, un rotocultivador i una màquina sembradora. Per a cada cas es descriuen les característiques de l'ormeig, del tractor i de l'equipament utilitzat, les condicions de treball en que s'ha realitzat l'assaig i els resultats obtinguts. També s'exposen les problemàtiques identificades i es proposen solucions i millores.

13.1. Objectius dels assajos experimentals en camp

Els objectius principals d'aquests assajos experimentals en camp són posar a punt els equips i validar la funcionalitat d'aquests. L'objectiu per tant, no és analitzar els resultats obtinguts en l'assaig per estudiar el comportament de l'ormeig, sinó comprovar que el dinamòmetre tripuntal, juntament amb la resta de l'equipament, funcionen correctament.

Sobre la base d'aquest objectiu, es valida el correcte funcionament del dinamòmetre tripuntal en els assajos en camp, mitjançant l'anàlisi de la variabilitat dels senyals adquirits, si el dinamòmetre és capaç de mesurar els pics de força i obtenir informació representativa del comportament de l'ormeig. També s'analitza si aquest es pot instal·lar adequadament en els tractors i si s'adapta a diferents tipus d'ormejos agrícoles. Es busca validar també el correcte funcionament dels altres equips i sensors complementaris en els assajos en camp, com són l'equip de posicionament GNSS o el sensor de parell i velocitat de la presa de força del tractor, i si és necessari, implementar-ne de nous per a obtenir informació addicional interessant per a l'assaig realitzat.

Per últim, es pretén comprovar si el programa per a l'adquisició i el tractament de dades funciona correctament i si compleix amb els requeriments establerts en l'Apartat 12.2.1, mitjançant la comprovació de la correcta adquisició, l'emmagatzematge de les dades i la correcta visualització en la pantalla de l'ordinador. També es vol valorar si la freqüència de mostreig és adequada, en funció de la variabilitat dels senyals i de l'estudi que es realitza.

13.2. Assaig amb cultivador de cisells

El primer assaig en camp realitzat correspon a l'assaig d'un cultivador de cisells. En aquest apartat es descriu l'equipament utilitzat, les condicions en que s'ha realitzat l'assaig i els resultats obtinguts.

13.2.1. Condicions de l'assaig per al cultivador de cisells

Ormeig i tractor

L'ormeig assajat correspon a un cultivador de cisells. Es tracta d'un model fix (no plegable) amb un total de 11 cisells distribuïts en dos files (5 a la 1a fila i 6 a la 2a fila) amb una amplada de treball de 2,7 m i està dissenyat per a tractors de 75 kW. A més, porta instal·lat un corró tipus gàbia de diàmetre 380 mm. El tractor utilitzat en l'assaig és un John Deere 6910, amb una potència útil de 103 kW i una massa de 6900 kg.

Equipament de mesura utilitzat

Per a l'assaig s'ha utilitzat únicament el dinamòmetre tripuntal sense cap altre sensor complementari, ja que aquest assaig es va realitzar en una fase inicial de la posada a punt de tota la instrumentació. L'equip d'adquisició de dades utilitzat és el posat a punt en aquesta tesi, el cRIO-9022 de NI[®] (Apartat 12.2.2), amb els corresponents mòduls per a l'adquisició dels senyals dels bolons de mesura del dinamòmetre tripuntal i amb un ajust de la freqüència d'adquisició a 10 Hz.

En aquest assaig, com en la resta dels comentats en aquest capítol, s'utilitza el model teòric per al càlcul del torsor d'enllaç a l'ormeig (Apartat 6.8), ja que en el moment en que es van realitzar els assajos era l'únic model disponible. Tot i que s'ha comprovat que hi poden aparèixer errors significatius, com que es pretén validar qualitativament el funcionament del dinamòmetre, aquest model es dona per vàlid.

Condicions de treball

A la Figura 13.1 es mostra un conjunt d'imatges de l'assaig realitzat.



Figura 13.1: Imatges de l'assaig amb cultivador de cisells

L'assaig s'ha realitzat en un terreny compactat, sobre rostoll de cereal i amb un elevat contingut de pedres. Es tracta també d'una parcel·la amb desnivells considerables, i a més, de forma irregular, de tal forma que el tractor, al fer les diferents passes, segueix una trajectòria curvilínia. L'assaig s'ha realitzat a una velocitat de 7 km/h i la profunditat de treball ha estat aproximadament entre els 15 i els 20 cm, donada l'actuació del control d'esforç a l'enganxall que regula l'elevació d'aquest. Per al muntatge de l'ormeig al dinamòmetre, la cota entre els dos enganxalls inferiors és de 475 mm mentre que l'alçada de l'enganxall superior és de 815 mm, dades necessàries per al càlcul de les forces als punts d'unió de l'ormeig.

13.2.2. Resultats per al cultivador de cisells

A continuació es presenten els resultats corresponents a dues passes al llarg del camp, amb una anada i una tornada. Es mostren les components del torsor d'enllaç mesurades a l'ormeig, corresponents a les components longitudinal, transversal i vertical de força i a les components de balanceig, capcineig i guinyada del moment (de Figura 13.2 a Figura 13.7). Els gràfics s'expressen en funció del temps i mostren les dades corresponents als valors mitjà, màxim i mínim de cada component cada 1 s. Per al càlcul d'aquests valors, cada segon s'enregistren 10 mostres i el propi programa de tractament de dades de l'equip d'adquisició realitza els càlculs.

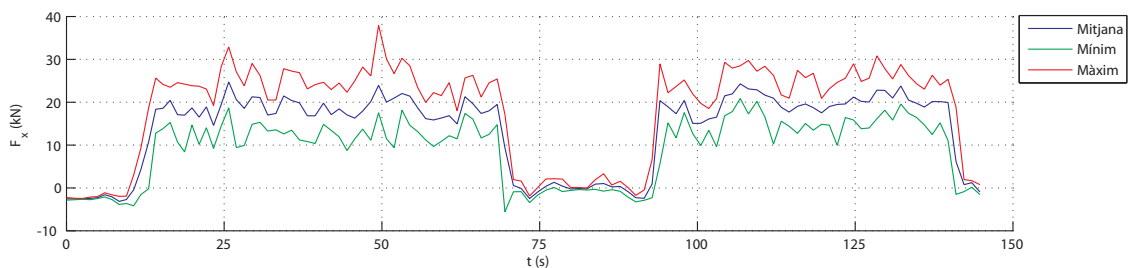


Figura 13.2: Component longitudinal de la força a l'enganxall del cultivador de cisells durant l'assaig

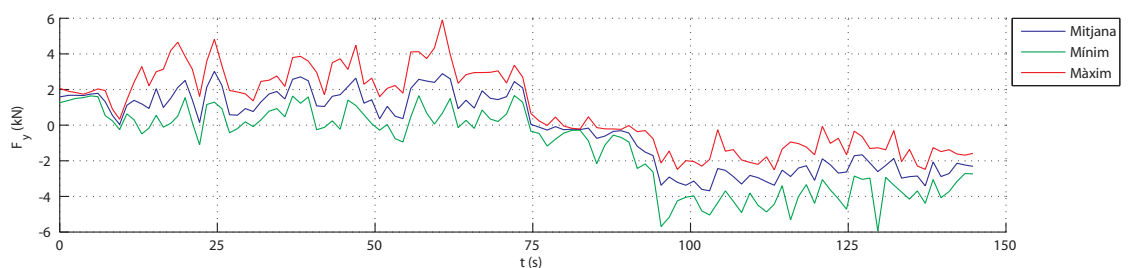


Figura 13.3: Component transversal de la força a l'enganxall del cultivador de cisells durant l'assaig

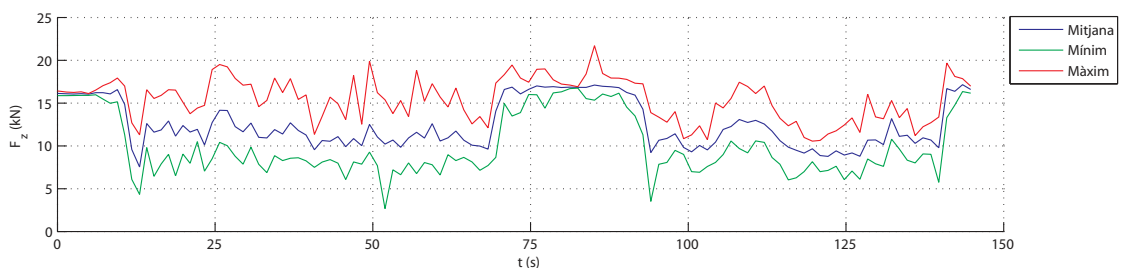


Figura 13.4: Component vertical de la força a l'enganxall del cultivador de cisells durant l'assaig

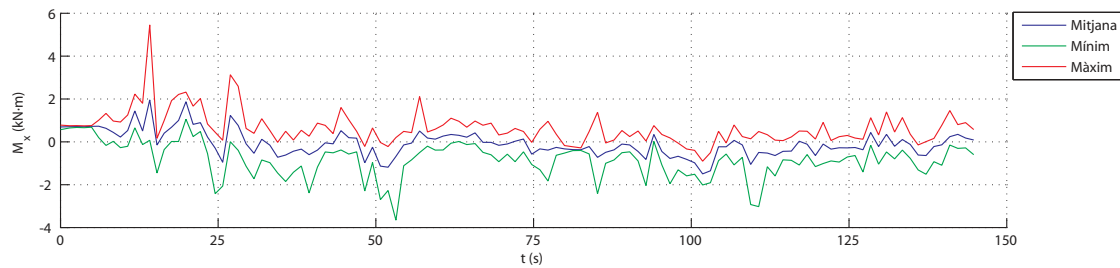


Figura 13.5: Component de balanceig del moment a l'enganxall del cultivador de cisells durant l'assaig

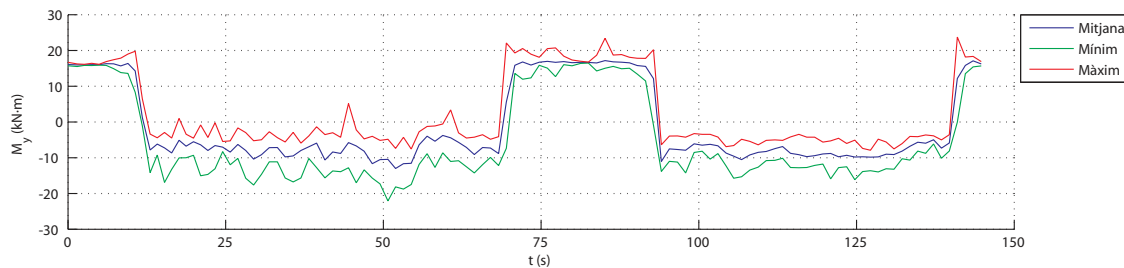


Figura 13.6: Component de capcineig del moment a l'enganxall del cultivador de cisells durant l'assaig

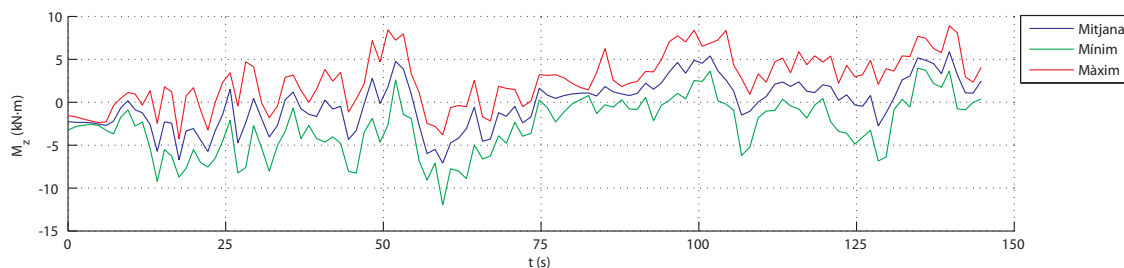


Figura 13.7: Component de guinyada del moment a l'enganxall del cultivador de cisells durant l'assaig

Els resultats mostren que es requereix d'una component longitudinal mitjana de 20 kN aproximadament, amb valors pic que poden superar els 30 kN. Amb aquests valors es comprova que la potència útil necessària per accionar l'orqueig és de 40 kW aproximadament. S'identifica un valor significatiu de component transversal de força que és degut en part a la inclinació lateral del terreny, ja que el pes del propi orqueig provoca aquesta reacció sobre el dinamòmetre, i també degut a la curvatura de la trajectòria recorreguda. Amb l'orqueig elevat es mesura un pes aproximat de l'orqueig d'uns 17 kN. Durant el llaurat la component vertical de força en l'orqueig es redueix a uns 12 kN però amb oscil·lacions significatives, provocades en part per la regulació de l'alçada del control de càrrega en l'enganxall de tres punts.

En la component de balanceig no s'aprecien valors significatius d'aquesta, ja que els valors que apareixen es poden atribuir a l'efecte del pendent lateral. En canvi, la component de capcineig sí que varia, en funció de si l'orqueig està elevat o no. També s'observa una component de guinyada, provocada per la trajectòria curvilínia que segueix el tractor, igual que per a la component transversal de força.

A la Figura 13.8 es representen les forces als punts d'unió de l'orqueig calculades a partir dels valors mitjans de les components del torsor d'enllaç mesurat.

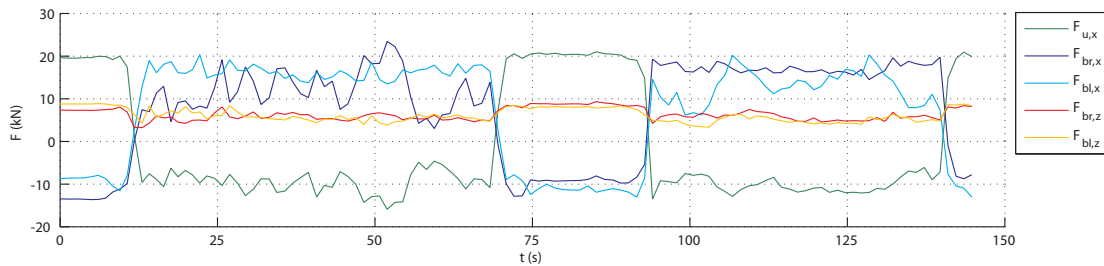


Figura 13.8: Forces als punts d'unió del llaurat en l'assaig del llaurat de cisells

En aquests resultats s'observa que amb l'orzeig elevat la força al punt superior $F_{u,x}$ és de 20 kN a tracció, mentre que durant l'operació aquesta s'inverteix de sentit i passa a un valor de 10 kN a compressió. L'efecte equivalent però invertit s'observa en els dos punts inferiors de l'enganxall $F_{br,x}$ i $F_{bl,x}$, on amb l'orzeig elevat aquestes són negatives mentre que durant l'operació passen a ser positives i de magnitud més gran. Es pot comprovar que les forces verticals als enganxalls inferiors dret $F_{br,y}$ i esquerre $F_{bl,y}$ són pràcticament iguals, tant durant el llaurat com amb l'orzeig elevat.

13.3. Assaig amb rotocultivador

El següent assaig realitzat correspon a un rotocultivador, i de la mateixa manera que en el cas anterior, es presenten les condicions en que s'ha realitzat l'assaig i els equips utilitzats, i es comenten els resultats obtinguts.

13.3.1. Condicions de l'assaig per al rotocultivador

Orzeig i tractor

En aquesta prova en camp s'estudia el comportament d'un rotocultivador d'amplada de treball de 2,6 m i amb una potència nominal d'accionament de 100 kW. El rotor té un diàmetre de 550 mm i disposa d'un total de 60 aixades, amb 6 aixades per platina del rotor. La massa total de la màquina és de 1520 kg i la velocitat d'accionament de la màquina a la PTO és de 1000 min^{-1} . La màquina disposa d'una caixa de canvis amb 4 velocitats que en l'assaig s'ha ajustat per a que el rotor treballi a 290 min^{-1} .

El tractor utilitzat en l'assaig del rotocultivador és el mateix que en l'assaig del llaurat de cisells, un John Deere 6910 amb una potència útil de 103 kW i una massa de 6900 kg.

Equipament de mesura utilitzat

Els equips utilitzats en l'assaig són el dinamòmetre per a enganxalls de tres punts, l'equip de posicionament GNSS, el sensor de parell i velocitat per a la pressa de força i el sensor de profunditat de treball. L'equip d'adquisició de dades s'ha programat per adquirir a una freqüència de 10 Hz, excepte l'equip GNSS que adquireix dades cada 1 s.

Condicions de treball

L'assaig s'ha realitzat en un terreny pla on s'han realitzat diverses passades, en concret 6 passades de les quals 3 són d'anada i 3 de tornada. La velocitat d'avanç del tractor s'ha establert entre 2 i 3 km/h. El rotocultivador s'acciona per la pressa de força a una velocitat de 1000 min^{-1} i s'ajusta la profunditat de treball a uns 20 cm, ja que aquestes són les condicions d'operació normals que estableix el fabricant de l'ormeig.



Figura 13.9: Imatges de l'assaig amb el rotocultivador

13.3.2. Resultats per al rotocultivador

Els resultats d'aquest assaig es presenten en funció de la posició en la parcel·la, a partir de les dades obtingudes amb el sistema GNSS. Es representen a la Figura 13.10 les dades del torsor d'enllaç a l'ormeig mesurat amb el dinamòmetre tripuntal i a la Figura 13.11 les dades de velocitat d'avanç del tractor, i les dades de parell, velocitat i potència mesurades a la PTO del tractor.

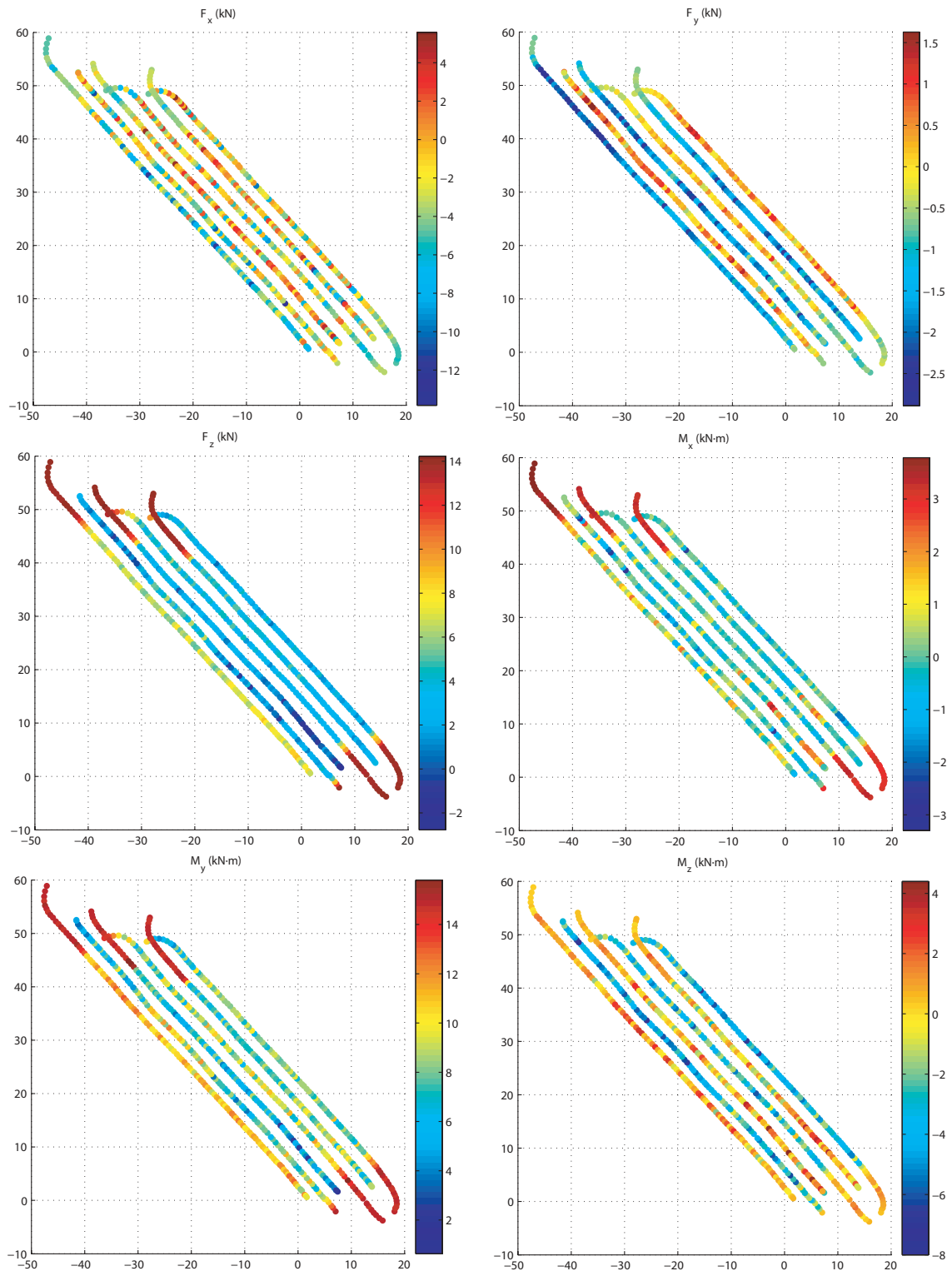


Figura 13.10: Mapa en parcel·la de les components de força i moment a l'enganxall del rotocultivador (coordenades en m)

El primer aspecte a comentar és que es comprova que la potència transmesa a través de la pressa de força correspon a gairebé la totalitat de la potència del tractor. A més, també es pot observar valors relativament petits en la component longitudinal de força, fins a 4 kN com a màxim, i amb una gran variabilitat, on s'obtenen fins i tot valors negatius.

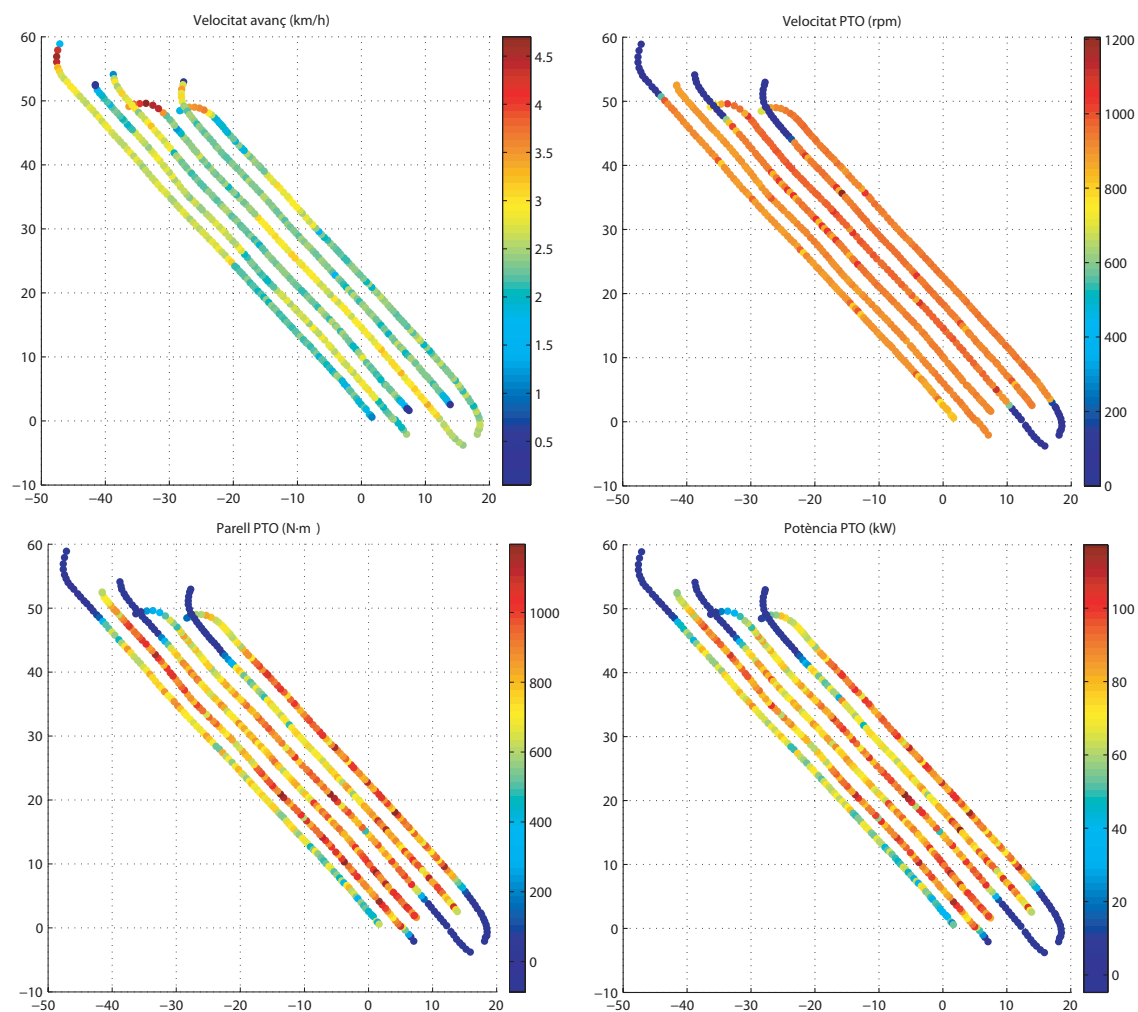


Figura 13.11: Mapa en parcel·la de velocitat del tractor utilitzant l'equip GNSS i de velocitat, parell i potència a la presa de força (coordenades en m)

També s'observa un valor de component transversal significatiu, ja que es fa passar un dels costats del rotocultivador per una zona on encara no s'ha estovat el sòl. Per a la component vertical, es comprova que quan l'ormeig està elevat el dinamòmetre mesura el pes de la màquina, que és d'uns 15 kN aproximadament. També s'observa que, durant l'operació, gairebé tot el pes de la màquina es recolza sobre el terra, ja que la mesura del dinamòmetre es redueix a valors de 4 kN. En el cas de la 1a passada aquesta força és d'uns 6 kN, ja que s'ha realitzat a menor profunditat.

Apareix també una component de balanceig de 3,5 kN·m quan l'ormeig està elevat. Això és degut a que la màquina no és simètrica respecte el pla vertical-longitudinal, ja que part de la transmissió de la màquina està instal·lada en un lateral. Apareix, com és d'esperar, una component de capcineig quan la màquina està elevada, d'uns 18 kN·m, on es redueix a la meitat quan l'ormeig es recolza al terra. Per últim, també apareix una component de guinyada, per les mateixes causes que provoquen l'aparició de la component transversal de força.

13.4. Assaig amb màquina sembradora

L'últim assaig realitzat correspon a una prova en camp realitzada amb una màquina sembradora. A continuació s'exposen les condicions de l'assaig amb tot l'equipament utilitzat i els resultats obtinguts.

13.4.1. Condicions de l'assaig per a la màquina sembradora

En aquest assaig l'objectiu és mesurar els esforços a que està sotmesa una màquina sembradora a dos velocitats de treball diferents. En paral·lel, també es pretén mesurar les tensions que apareixen en una rella mitjançant galgues extensomètriques.

Ormeig i tractor

La sembradora assajada té una amplada de treball de 5 m, amb un total de 31 relles per obrir els solcs i dipositar les llavors. La màquina té una tremuja amb una capacitat de 2000 l i un pes en buit de 2250 kg. El tractor utilitzat en l'assaig és un Case IH CVX 1155 de potència 116 kW i una massa de 8400 kg.

Equipament de mesura utilitzat

Per a aquest assaig s'ha utilitzat el dinamòmetre per a enganxalls tripuntals i l'equip de posicionament GNSS. També s'ha desenvolupat una rella instrumentada amb galgues extensomètriques per a la mesura de les tensions en aquesta (Figura 13.12).



Figura 13.12: Rella instrumentada amb galgues extensomètriques

Per a aquesta rella instrumentada, s'han instal·lat 4 galgues extensomètriques a cada una de les cares del braç de la rella. Les galgues s'han situat al punt mig de cadascuna de les cares a una distància de 100 mm respecte el punt d'articulació del braç, per ser aquesta una zona on es preveu que les sol·licitacions siguin grans. Les galgues són del tipus FRA-2-11 utilitzant dos graelles a 90° per a la mesura de la deformació longitudinal i la deformació transversal. La resistència nominal de cada graella és de 120 Ω i el factor de galga k és de 2,09. Per a la mesura de la deformació es realitza per a cada graella una configuració en quart de pont completat amb resistències, i obtenir d'aquesta forma un total de 8 senyals de deformació.

Per al dinamòmetre tripuntal i l'equip GNSS s'ha utilitzat l'equipament per a l'adquisició de dades descrit en aquesta tesi (Apartat 12.2.2). L'equip adquireix cada 0,1 s les dades del dinamòmetre tripuntal i realitza tots els càlculs per determinar el torsor d'enllaç a l'ormeig. Amb el mateix equip es determinen cada 1 s els valors màxim, mitjà i mínim de cada component de força i moment mesurats. L'equip GNSS adquireix i envia a l'equip d'adquisició de dades els valors de posició i velocitat cada 1 s.

Per a la rella instrumentada amb galgues extensomètriques s'ha utilitzat un equip d'adquisició de dades complementari, ja que a l'equip d'adquisició utilitzat per al dinamòmetre tripuntal i la resta de sensors no es disposa de suficients canals. L'equip utilitzat és el Yokogawa® DL 750 ScopeCorder que disposa de les 8 entrades necessàries per als ponts de mesura. Aquest equip s'ha programat per a que adquireixi cada 0,1 s els senyals de cada pont de mesura.

Tot i que per al funcionament normal de la sembradora es requereix de l'accionament mitjançant la presa de força, en aquest assaig no s'ha utilitzat, ja que l'objecte d'estudi és la determinació de les càrregues a l'enganxall de tres punts i a les relles.

Condicions de l'assaig

En aquest assaig s'han plantejat dues condicions d'operació en camp. L'una correspon a un assaig a velocitat de treball de 6 km/h, considerada una velocitat lenta. L'altra correspon a una velocitat de 12 km/h, considerada ràpida. La profunditat de treball s'ha ajustat a 10 cm.



Figura 13.13: Imatges de l'assaig de la màquina sembradora

13.4.2. Resultats per a la màquina sembradora

A continuació es mostren els resultats del torsor d'enllaç mesurat a l'enganxall de l'ormeig en dos casos de velocitat de treball, a 6 km/h i a 12 km/h. També es mostren els resultats de les tensions mesurades en la rella instrumentada amb galgues extensomètriques.

13.4.2.1. Torsor d'enllaç mesurat a l'ormeig

Per al dinamòmetre tripuntal es mostren els valors de les components longitudinal, transversal i vertical de força, i les components de balanceig, capcineig i guinyada de moment del torsor d'enllaç a l'ormeig per a les dues velocitats a les quals s'ha realitzat l'assaig. Per facilitar la interpretació dels resultats es mostra el valor mitjà de les 10 mostres adquirides cada segon per a cada component. Es mostra també els resultats de velocitat de treball al llarg del temps adquirits cada 1 s amb l'equip GNSS.

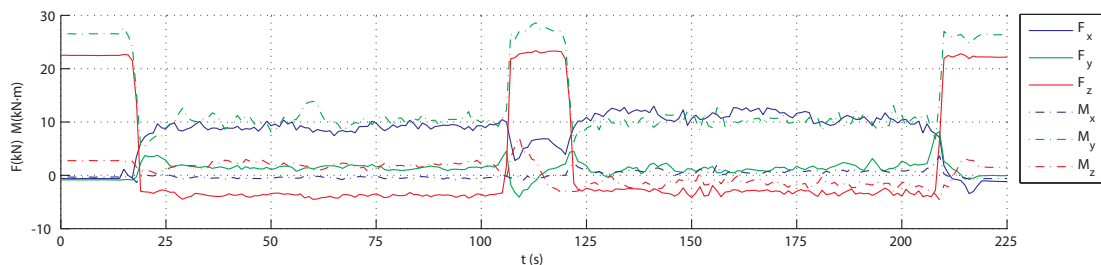


Figura 13.14: Components del torsor d'enllaç a l'enganxall de la sembradora en l'assaig a velocitat lenta

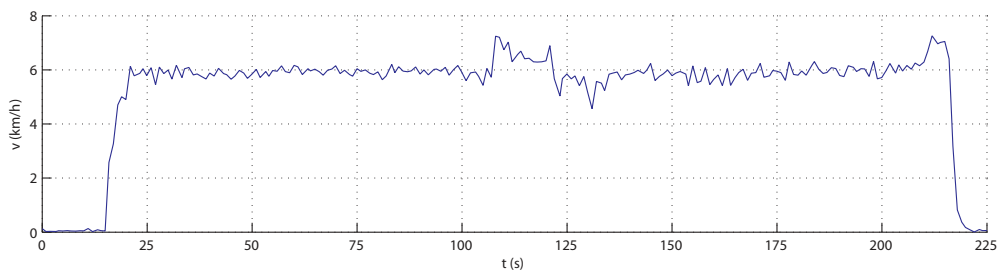


Figura 13.15: Velocitat d'avanç en l'assaig de la sembradora a velocitat lenta

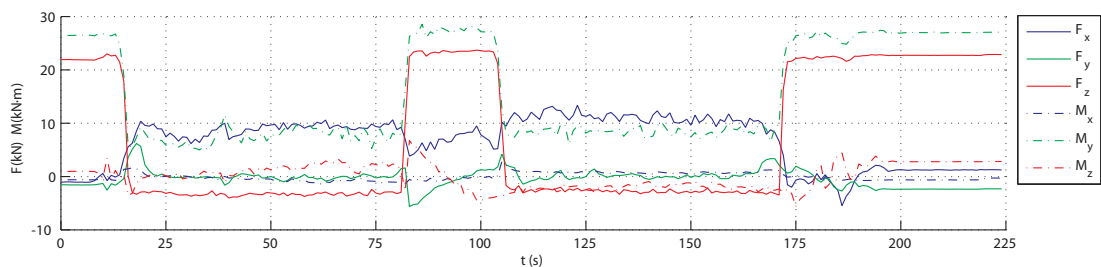


Figura 13.16: Components del torsor d'enllaç a l'enganxall de la sembradora en l'assaig a velocitat ràpida

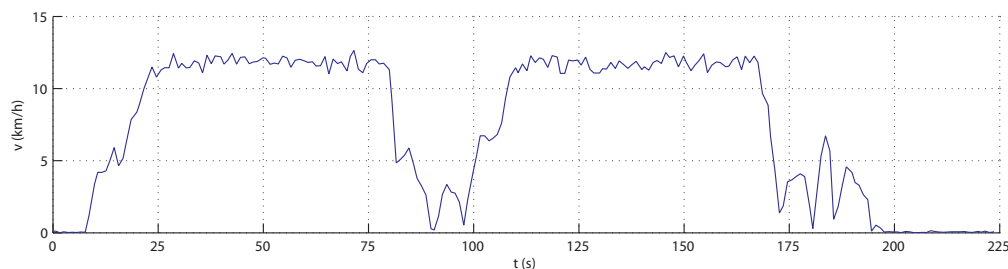


Figura 13.17: Velocitat d'avanç en l'assaig de la sembradora a velocitat ràpida

Si s'analitzen els dos gràfics corresponents al torsor d'enllaç (Figura 13.14 i Figura 13.16) per a les dues velocitats d'assaig (Figura 13.15 i Figura 13.17) s'observa que els requeriments de component longitudinal de força, tant a velocitat ràpida com lenta, no varien significativament. Per al cas de la component longitudinal es comprova que en els dos casos l'esforç requerit és aproximadament de 10 kN. En la resta de components tampoc s'aprecien canvis significatius. Amb la sembradora elevada s'observa una component vertical, corresponent al propi pes de l'ormeig, de 22 kN i una component de capcineig de 27 kN·m. Quan l'ormeig es recolza sobre el terra, la component vertical passa a tenir un valor negatiu aproximadament de 3 kN, i la component de capcineig passa a ser de 10 kN·m. Cal tenir present però, que aquests valors estan condicionats per l'angle del dinamòmetre respecte a l'ormeig, on donada la disposició dels punts d'enganxall de l'ormeig, l'angle entre el dinamòmetre i l'ormeig ha estat d'uns 7° aproximadament.

13.4.2.2. Resultats de tensions en la rella instrumentada

Els resultats que es presenten per a la rella instrumentada amb galgues extensomètriques són les tensions en la direcció longitudinal mesurades a partir dels senyals dels punts de cada galga. Les dades es presenten cada 1 s, i es mostra el valor mitjà, màxim i mínim de les 10 mostres mesurades en l'interval. Es comprova que per a les galgues longitudinals la deformació de la galga situada a la cara inferior és igual que la de la cara superior però de signe contrari. El mateix efecte es comprova amb les galgues laterals. Per tant, només es mostren els gràfics de tensions dels punts superior i lateral dret, ja que els dels punts inferior i lateral esquerre seran equivalents respectivament.

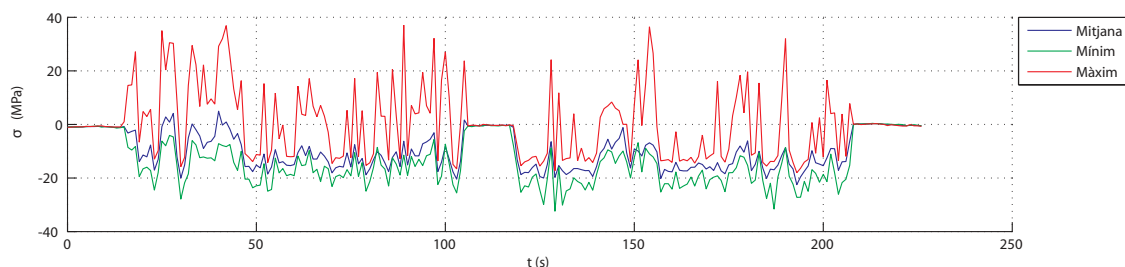


Figura 13.18: Tensions a la galga superior de la rella en l'assaig de la sembradora a velocitat lenta

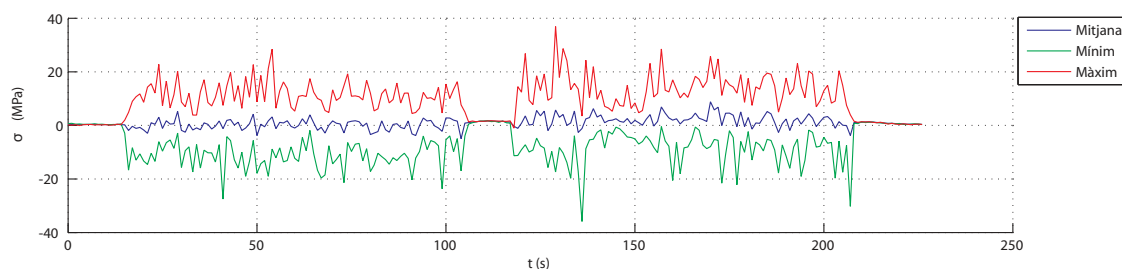


Figura 13.19: Tensions a la galga lateral dreta de la rella en l'assaig de la sembradora a velocitat lenta

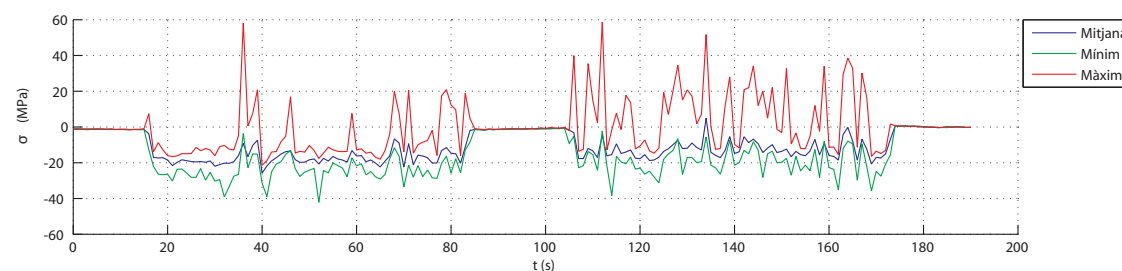


Figura 13.20: Tensions a la galga superior de la rella en l'assaig de la sembradora a velocitat ràpida

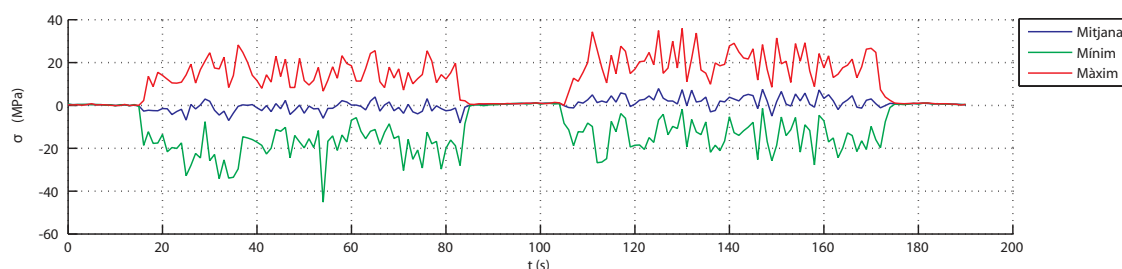


Figura 13.21: Tensions a la galga lateral dreta de la rella en l'assaig de la sembradora a velocitat ràpida

El valors mitjans de tensió en el punt de la galga superior (Figura 13.18 i Figura 13.20) són negatius ja que el punt superior treballa a compressió. D'aquesta manera els pics de força del terra sobre la rella corresponen als valors de tensió mínima, i els valors de tensió màxima corresponen als pics provocats pel retorn de la rella per efecte de la molla. En el cas de l'assaig a 6 km/h els valors mitjans de tensió són de 15 MPa mentre que a velocitat ràpida són de 20 MPa. En el retorn de la rella per efecte de la molla apareixen pics de fins a 50 MPa a velocitat ràpida i valors de gairebé 40 MPa a velocitat lenta. Per a les galgues laterals (Figura 13.19 i Figura 13.21) els valors mitjans de tensió són pràcticament zero, amb unes oscil·lacions de ± 15 MPa en el cas de 6 km/h i de ± 20 MPa en el cas de 12 km/h.

A partir de les dades d'aquest assaig es podria arribar a quantificar amb cert detall els requeriments a fatiga per al dimensionament d'aquestes relles. Tot i això, és convenient augmentar la freqüència d'adquisició per garantir la identificació clara dels pics de força i de la seva magnitud, així com la identificació de la freqüència de la vibració.

13.5. Conclusions en la posada a punt dels equipaments

A continuació es presenten les conclusions sobre la funcionalitat i la viabilitat de l'equipament utilitzat en els assajos en camp. També s'exposen les problemàtiques identificades i les dificultats que han sorgit en els tres assajos en camp realitzats, i es presenten les solucions adoptades i les pendents d'efectuar.

La principal conclusió a la que s'arriba és que el dinamòmetre tripuntal compleix amb els requeriments previstos, ja que permet identificar tant les components de força i moment mitjanes com els pics d'aquestes durant un assaig en camp. Amb els valors mitjans es pot estudiar el comportament funcional del tractor i de l'ormeig i analitzar els requeriments de potència. En canvi, amb els valors màxims de força en els punts d'unió de l'ormeig es poden identificar els requeriments de resistència estructural.

El sistema d'adquisició de dades compleix també amb els requeriments establerts, ja que permet una visualització clara de les mesures i identificar en temps real les variacions en el comportament del conjunt durant l'assaig. Un dels aspectes sobre el procediment a seguir en els assajos en camp i que afecta a la selecció de la freqüència d'adquisició, és que caldria primerament realitzar una adquisició a freqüència elevada per identificar els períodes en les oscil·lacions en les components de mesura, i posteriorment ajustar la freqüència de manera que no comporti un excés de dades enregistrades sense comprometre la informació adquirida.

En l'assaig amb el cultivador de cisells, pel que fa referència a la posada a punt dels equipaments, es posa de manifest la necessitat d'utilitzar un inclinòmetre per conèixer l'angle de l'ormeig respecte al tractor. També, el fet d'utilitzar inclinòmetres per al tractor, és interessant per identificar clarament els efectes dels pesos en les mesures en pendents longitudinals i transversals. També s'ha posat de manifest la necessitat de poder mesurar de forma efectiva la profunditat de treball, ja que és un factor que condiciona significativament les forces requerides en l'accionament de l'ormeig. Per últim, s'ha constatat també que la dimensió en alçada de l'ormeig era lleugerament superior a l'interval que permet el dinamòmetre. Per això s'ha construït un altre utilitatge que permet augmentar l'interval de regulació de l'alçada (descriu a l'Apartat 3.2.5).

Pel que fa a la posada a punt de l'equipament utilitzat en l'assaig del rotocultivador, una de les problemàtiques detectades és que seria convenient situar l'equip de posicionament GNSS al centre del tractor i no a un lateral com s'ha fet en l'assaig, per evitar realitzar correccions en el càlcul de les posicions. També s'han tingut dificultats donades les interferències entre la transmissió de la PTO i el dinamòmetre, ja que en posicions de l'ormeig elevades, la transmissió arribava a tocar amb el dinamòmetre. Per últim, cal destacar que donat que el rotocultivador llença la terra endavant, la mesura del sensor de profunditat s'ha vist afectada durant el treball de la màquina. Per tant, les úniques mesures adequades amb aquest sensor han estat quan l'ormeig no estava accionat per la pressa de força. Una possible solució a aquest inconvenient seria posar un element que actués com una pantalla i evitar que la terra no arribi a la zona d'influència del sensor.

En l'assaig de la màquina sembradora, es comprova que el punt superior de l'enganxall de la màquina està avançat respecte als punts inferiors, i això fa que el dinamòmetre quedi inclinat respecte al tractor i a la sembradora. Per realitzar la correcta mesura de les

components de força i moment, abans d'iniciar l'assaig cal mesurar aquest angle per al posterior tractament de les dades. En l'anàlisi de les tensions en la rella, es posa de manifest que cal augmentar la freqüència d'adquisició per tal de poder analitzar adequadament la resistència a fatiga d'aquesta. Per un estudi en profunditat caldria realitzar diverses proves en condicions d'operació diferents per identificar els casos més desfavorables. Cal destacar també que amb extensometria es pot analitzar els requeriments a diferents parts de l'ormeig, i conjuntament amb el dinamòmetre tripuntal, obtenir els requeriments a fatiga en els ancoratges de l'ormeig.